

2026
№3(77)

**Вооружение
и экономика**

<p>46 Центральный научно-исследовательский институт Министерства обороны Российской Федерации</p> <p>Российская академия ракетных и артиллерийских наук</p> <p>Академия проблем военной экономики и финансов</p>	<h1>Вооружение и экономика. 2026. №3(77)</h1> <p>электронный научный журнал</p> <h2>http://www.viek.ru</h2> <p>Содержание</p>
<p>Издается с 2008 года</p> <p>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</p> <p>Свидетельство о регистрации СМИ от 7 декабря 2012 г. № ФЦ77-52083</p> <p>ISSN 2071-0151</p> <p>Издатель: Российская академия ракетных и артиллерийских наук 107564, Москва, 1-я Мясниковская ул., д.3, стр.3</p> <p>Адрес редакции: 129327, Москва, Чукотский пр-д, д.10, ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России. В редакцию журнала «Вооружение и экономика»</p> <p>rk@viek.ru</p>	<h3>ВООРУЖЕНИЕ И ВОЕННАЯ ТЕХНИКА</h3> <p>Буравлев А.И. Применение последовательной байесовской процедуры в задачах экспертного оценивания5-11</p> <p>Григорошенко В.М., Олейников И.И., Ачасов О.Б., Галич Р.Г. Современное состояние разработок в области космического мониторинга и слежения Европейских государств.....12-21</p> <p>Белянкин А.В., Семенов Е.Н., Герасименко С.Ю., Пирогов С.Ю. Подходы к выбору рациональных вариантов программы создания жидкостного ракетного двигателя ракеты-носителя в условиях ограниченных объемов испытаний и сроков выполнения22-36</p> <p>Абросимов В.К., Келоглян А.Х. Роль и место мультимодальных больших языковых моделей в задачах создания систем противодронной обороны37-45</p> <p>Найденов В.Г., Егоров Д.Л., Лендоев К.В. Роль цифровых технологий в обеспечении испытаний сложных технических систем46-53</p> <p>Степанов В.Д. О свойствах, боевых возможностях и эффективности авиационных комплексов54-60</p> <p>Султанов А.Э. Проблемные вопросы обеспечения кратности использования многофазовых средств выведения космических аппаратов61-68</p> <p>Самойлов Д.В. Формирование навыков безопасной эксплуатации переносных зенитно-ракетных комплексов в процессе обучения на комплексном тренажере69-74</p>

<p><i>Главный редактор</i> В.М. Буренок</p> <p><i>Редакционная коллегия</i> А.А. Александров О.Б. Ачасов В.И. Бабенков А.М. Батьковский С.И. Боков С.Г. Брайткрайц А.И. Буравлев В.Л. Гладышевский (зам. гл. ред.) Е.В. Горгола П.А. Дроговоз Р.А. Дурнев В.В. Ионов Г.А. Лавринов (зам. гл. ред.) А.В. Леонов В.Г. Найденов А.Г. Подольский (зам. гл. ред.) К.В. Сивков Е.Ю. Хрусталеv Д.В. Худяков (зам. гл. ред. – уч. секр.) А.А. Целыковских И.В. Чистов</p> <p><i>Оформление, верстка</i> Д.В. Худяков</p> <p><i>Редактор</i> Т.М. Молчанова</p> <p><i>Перевод</i> О.В. Криворучко</p>	<p>ВОЕННАЯ ЭКОНОМИКА</p> <p>Лавринов Г.А., Шапошникова Н.Д. Методы военно-экономического анализа и их использование при решении задач оборонной направленности 76-89</p> <p>Захаров С.А. Идентификация продукции двойного назначения. Актуализация алгоритма проведения..... 90-99</p> <p>ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ</p> <p>Правила предоставления авторами рукописей..... 101</p> <p>Карточка автора 103</p> <p>Особенности распространения журнала 103</p> <p>Порядок рецензирования рукописей 104</p> <p>Сведения о членах редакционной коллегии..... 105</p>
--	--

ВООРУЖЕНИЕ И ВОЕННАЯ ТЕХНИКА

Научная статья
УДК 519.2

Применение последовательной байесовской процедуры в задачах экспертного оценивания

Александр Иванович Буравлев

Аннотация. В статье рассмотрен статистический метод адаптивного экспертного оценивания сложных многопараметрических объектов, для которых отсутствуют возможности использования виртуальных (с помощью моделей) или натурных (экспериментальных) испытаний и соответствующих информационно-измерительных систем. Проведение экспертизы, по сути, представляет собой эксперимент, только в качестве информационно-измерительной системы в нем используется человек, обладающий знанием, опытом и профессиональной компетентностью. Результаты, выдаваемые экспертами, также содержат случайные ошибки и для анализа их достоверности (точности и надежности) могут быть использованы известные методы статистического анализа. Автором разработана методика и алгоритм адаптивного экспертного оценивания на основе байесовской процедуры. Приведен иллюстративный пример ее использования. Предлагаемый метод может быть использован при оценке качества и пригодности активно разрабатываемых в настоящее время систем искусственного интеллекта.

Ключевые слова: гипотезы и шкала решений экспертов; байесовские оценки вероятностей гипотез по результатам экспертизы; учет ошибок экспертов при оценке вероятностей их решений; критерии останова экспертной процедуры

Для цитирования: Буравлев А.И. Применение последовательной байесовской процедуры в задачах экспертного оценивания // Вооружение и экономика. 2026. №3(77). С. 5-11.

Original article

Application of a Consistent Bayesian Procedure in Expert Evaluation Tasks

Aleksandr I. Buravlev

Abstract. The article considers a statistical method of adaptive expert evaluation of complex multiparametric objects for which there are no possibilities of virtual (by means of models) or field (experimental) tests usage and corresponding information and measurement systems. Carrying out an expert examination is essentially an experiment, but it includes a human input with knowledge, experience, and professional competence in an information and measurement system. The results provided by experts also contain random errors, and well-known statistical analysis methods can be used to analyze their reliability (accuracy and reliability). The author has developed a methodology and algorithm for adaptive expert evaluation based on the Bayesian procedure. An illustrative example of their usage is given. The proposed method can be used for the quality and suitability evaluation of currently actively developed artificial intelligence systems.

Keywords: hypotheses and the scale of expert decisions; Bayesian estimates of hypothesis probabilities based on examination results; accounting for expert errors in the course of the decisions probabilities evaluation; criteria for the expert procedure stopping

For citation: Buravlev A.I. Application of a Consistent Bayesian Procedure in Expert Evaluation Tasks. *Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics*. 2026; 77(3): 5-11. (In Russ.).

Экспертное оценивание находит широкое применение в задачах программно-целевого планирования развития систем вооружения и военной техники (ВВТ) на всех его этапах (целеполагания, анализа состояний объектов и условий их применения, выбора вариантов и стратегий развития ВВТ, вариантов их практической реализации и оценки эффективности) [1-3]. Это связано с высокой степенью неопределенности и динамичности процесса планирования и необходимостью в использовании знаний и опыта высококвалифицированных специалистов (экспертов) из разных областей (военное дело, военная техника и технологии, военное производство и экономика, управления организацией и др.). Эксперт как носитель знаний и опыта их практического применения обладает не только компетентностью, но и определенными социально-психологическими качествами (интуицией, предвидением, творческим озарением, этикой и моралью), которые присущи только Человеческому интеллекту. Практика применения различного рода экспертиз показывает, что в условиях ограниченной информации и высокой степенью ее неопределенности, решения экспертов оказываются

объективнее и точнее, чем получаемые на сложных имитационных и оптимизационных моделях, особенно в условиях многокритериального выбора [3-6].

При организации экспертизы важно правильно сформулировать ее цель, определить перечень факторов (признаков, параметров), подлежащих оцениванию, выбрать шкалы оценивания и разработать тесты для оценки уровня компетентности экспертов и степени их согласованности для предстоящей экспертизы [2]. На данном этапе в целях повышения уровня согласованности целесообразно использовать методы адаптации суждений экспертов к рассматриваемой проблеме с учетом результатов их тестирования, а также в ходе последующей работы. Ознакомление эксперта с результатами оценки других экспертов повышает уровень информированности эксперта и качество его экспертизы [2; 4].

Далее мы рассмотрим применение байесовской процедуры для экспертного оценивания, как одного из методов повышения уровня информированности экспертов с использованием вероятностно-статистического подхода.

1 Байесовский алгоритм адаптации экспертного оценивания

Пусть эксперту предложено сравнить пару альтернатив A_1, A_2 для некоторой ситуации выбора. Каждая альтернатива A характеризуется набором факторов (параметров) $U_A = (u_1, u_2, \dots, u_m)$, отражающих ее свойства (качество). По этим параметрам эксперт производит оценивание и сравнение альтернатив A_1, A_2 , используя известные методы (балльных оценок, парных сравнений, голосованием). Относительно альтернатив A_1, A_2 возможны следующие гипотезы:

$$H_1 =: \{A_1 > A_2\}; H_2 =: \{A_1 < A_2\}; H_0 =: \{A_1 \sim A_2\},$$

где: $A_1 > A_2$ означает, что альтернатива A_1 предпочтительнее альтернативы A_2 или наоборот $A_2 > A_1$; $A_1 \sim A_2$ – альтернативы несравнимы между собой. Эксперт может принять решение относительно сравниваемых альтернатив путем формирования индикатора $X = 1$ в пользу альтернативы A_1 или $X = -1$ в пользу альтернативы A_2 , но может и отказаться от сравнения $X = 0$, если посчитает указанные альтернативы несравнимыми $A_1 \sim A_2$. Таким образом, результаты сравнения могут быть выражены в следующей шкале:

$$X = \begin{cases} 1, & \text{если } A_1 > A_2 \\ -1 & \text{если } A_1 < A_2 \\ 0 & \text{если } A_1 \sim A_2 \end{cases}. \quad (1)$$

Признак несравнимости $X = 0$ никак не влияет на оценки альтернатив, данные другими экспертами, но исключает результат данного эксперта из подсчета голосов. Отказ эксперта, с одной стороны, снижает его рейтинг компетентности, а с другой, – служит поводом для исследования причин отказа, в том числе, для выяснения достаточности представленных на экспертизу характеристик объектов U_A .

Возможна и другая схема оценки, когда альтернативы практически не различимы для эксперта $A_1 \sim A_2$ и он может считать их эквивалентными (равновозможными, равноценными). Какое значения в этом случае нужно приписать признаку решения эксперта $X = ?$. Здесь целесообразно использовать принцип «недостаточного основания» Лапласа при оценке результата эксперта. При $A_1 \sim A_2$ вполне допустимо принять $X = 1$, потому, как нет оснований считать, что $A_1 < A_2$. В этом случае нужно просмотреть результаты оценки других экспертов для данной ситуации и использовать вероятностно-статистический анализ этих решений.

Будем рассматривать процедуру экспертного оценивания исходных альтернатив как последовательную схему испытаний, начиная с одного наугад выбранного эксперта $n = 1$. По результатам опроса n экспертов рассчитываются статистические оценки вероятностей принятия гипотез:

$$P_n(H_1) = \sum_{i=1}^n (X_i = 1) / n = n_1 / n; P_n(H_2) = \sum_{i=1}^n (X_i = -1) / n = n_2 / n;$$

$$P_n(H_0) = \sum_{i=1}^n (X_i = 0)/n = n_0/n; P_n(H_1) + P_n(H_2) + P_n(H_0) = 1, \quad (2)$$

где: n_1, n_2, n_0 – число экспертов, принявших решение в пользу рассматриваемых гипотез.

Тогда для очередного $(n + 1)$ -го эксперта результаты экспертизы принимают следующие значения:

$$\begin{aligned} P_{n+1}(H_1|X_{n+1} = 1) &= (n_1 + 1)/(n + 1); \\ P_{n+1}(H_2|X_{n+1} = -1) &= (n_2 + 1)/(n + 1); \\ P_{n+1}(H_0|X_{n+1} = 0) &= (n_0 + 1)/(n + 1). \end{aligned} \quad (3)$$

Из выражений (2), (3) вытекают неравенства:

$$\begin{aligned} P_{n+1}(H_1|X_{n+1} = 1) &= (n_1 + 1)/(n + 1) > n_1/n = P_n(H_1); \\ P_{n+1}(H_2|X_{n+1} = -1) &= (n_2 + 1)/(n + 1) > n_2/n = P_n(H_2). \end{aligned}$$

Таким образом, при увеличении числа экспертов апостериорные вероятности гипотез увеличиваются, если решения экспертов отражают истинное содержание гипотез и уменьшаются при их несовпадении. Это полностью соответствует содержательному смыслу статистического подхода, когда увеличение числа экспериментов повышает достоверность оценки свойств исследуемого объекта.

При выборе своих решений эксперт может допускать ошибки 1-го рода (не признавая действительное) с вероятностью $\alpha = P(X = -1|H_1)$ и 2-го рода (выдавая желаемое за действительное) $\beta = P(X = 1|H_2)$. Вероятность этих ошибок характеризует уровень компетентности эксперта их можно определить посредством предварительного тестирования экспертов. Методы тестирования широко применяются в настоящее время при оценке уровня знаний и профессиональной компетенции специалистов¹.

Оценки для вероятностей ошибок эксперта по результатам тестирования определяются следующими формулами:

$$\alpha = \sum_{k=1}^N (X_k = -1|H_1)/N; \beta = \sum_{k=1}^N (X_k = 1|H_2)/N,$$

где: N – число тестовых заданий с двумя ответами (истинным и ложным).

В ходе проведения реальной экспертизы эти оценки могут уточняться.

В процессе экспертизы экспертам сообщаются результаты других участников процедуры, что позволяет корректировать их индивидуальные оценки. Для каждого последующего эксперта ($j > n$) можно оценить ожидаемую вероятность (прогноз) принятия его решений по формуле полной вероятности:

$$\begin{aligned} P(X_j = 1) &= P(X_j = 1|H_1)P_n(H_1) + P(X_j = 1|H_2)P_n(H_2) = (1 - \alpha)P_n(H_1) + \beta P_n(H_2); \\ P(X_j = -1) &= P(X_j = -1|H_1)P_n(H_1) + P(X_j = -1|H_2)P_n(H_2) = \alpha P_n(H_1) + (1 - \beta)P_n(H_2). \end{aligned} \quad (4)$$

Такая обратная связь является основой адаптивного метода оценивания.

Далее, используя байесовскую процедуру, можно оценить вероятности принятия гипотез с учетом решений очередного $(n + 1)$ -го эксперта²:

$$\begin{aligned} P_n(H_2|X_{n+1} = -1) &= \\ &= P_n(X_{n+1} = 1|H_1)P_n(H_1)/\{P_n(X_{n+1} = 1|H_1)P_n(H_1) + P_n(X_{n+1} = 1|H_2)P_n(H_2)\} = \\ &= (1 - \alpha_{n+1})P_n(H_1)/\{(1 - \alpha_{n+1})P_n(H_1) + \beta_{n+1}P_n(H_2)\}; \\ P_n(H_2|X_{n+1} = -1) &= \\ &= P_n(X_{n+1} = -1|H_2)P_n(H_2)/\{P_n(X_{n+1} = -1|H_1)P_n(H_1) + P_n(X_{n+1} = -1|H_2)P_n(H_2)\} = \\ &= (1 - \beta_{n+1})P_n(H_2)/\{\alpha_n P_n(H_1) + (1 - \beta_{n+1})P_n(H_2)\}. \end{aligned} \quad (5)$$

¹ Чельшева М.Б. Теория и практика конструирования педагогических тестов: учеб. пособие. М.: Логос, 2002. 432 с.

² Там же.

Апостериорные вероятности гипотез также характеризуют степень достоверности решений эксперта относительно оцениваемых гипотез:

$$D_n(H_1) = P_n(H_1|X_{n+1}); D_n(H_2) = P_n(H_2|X_{n+1}).$$

Адаптация результатов экспертного оценивания завершается путем приравнивания априорных и апостериорных вероятностей гипотез с учетом решений очередного $(n + 1)$ -го эксперта:

$$P_{n+1}(H_1) = P_n(H_1|X_{n+1} = 1); P_{n+1}(H_2) = P_n(H_2|X_{n+1} = -1). \quad (6)$$

В качестве априорного распределения для $n = 1$ необходимо принять:

$$P_1(H_1) = P_1(H_2) = 0,5.$$

Возможна также схема самообучения эксперта по уровню различения гипотез $\lambda_n = P_n(H_1)/P_n(H_2)$:

$$X_{n+1} = \begin{cases} 1, & \text{если } \lambda_n \geq \hat{\lambda} \\ -1 & \text{если } \lambda_n < \hat{\lambda} \\ 0 & \text{если } A_1 \propto A_2. \end{cases} \quad (7)$$

где: $\hat{\lambda} > 1$ – заданный уровень различения гипотез.

Предлагаемые адаптивные алгоритмы обеспечивают при увеличении числа экспертов сходимость вероятностей принятия гипотез $P_{n+1}(H_1)$, $P_{n+1}(H_2)$ к стационарным значениям. Останов процесса экспертного оценивания осуществляется при достижении заданной точности:

$$\max\{|P_{n+1}(H_1) - P_n(H_1)|; |P_{n+1}(H_2) - P_n(H_2)|\} \leq \delta,$$

где: $\delta = 0,05$ – заданный уровень погрешности оценивания или при достижении заданного порога различения гипотез, например, $\lambda_n \geq 3,0$.

Предлагаемый подход позволяет учесть главную особенность экспертного оценивания – это наличие субъективной составляющей в оценке альтернатив, которые имеют как случайный, так и неопределенный характер в силу социально-психологических особенностей данного вида «измерений». Точность и надежность таких измерений обеспечивается повышением уровня компетентности экспертов и их численности для решения «неизмеримых» в классическом понимании проблем.

2 Иллюстративный пример

Группе экспертов, компетентных в области вооружения и военной техники (ВВТ), предлагается провести экспертизу военно-технического уровня двух образцов A_1 , A_2 . Каждый образец характеризуется набором военно-технических характеристик $U_A = (u_1, u_2, \dots, u_m)$. Экспертам предлагается произвести многопараметрическое сравнение образцов ВВТ, в том числе с применением различных методов [4; 5]. Результаты экспертизы приведены в таблице 1. Решения, принимаемые экспертами, соответствуют схеме (1). Эксперты прошли предварительное тестирование с оценкой уровня их компетентности и численных значений их возможных ошибок 1-го и 2-го рода, которые также приведены в таблице. Начальные значения вероятностей оцениваемых гипотез. Начальные значения вероятностей принятия гипотез принимаются на уровне $P_1(H_1) = P_1(H_2) = 0,5$, т.е. с максимальной неопределенностью.

На рисунке 1 приведены графики изменения вероятностей гипотез без учета ошибок экспертов, а на рисунке 2 – с учетом ошибок экспертов, полученных по данным их тестирования. Из приведенных далее в статье таблиц следует, что по мере увеличения числа экспертов (экспериментов) вероятности гипотез стабилизируются и стремятся к своим стационарным значениям $\bar{P}(H_1)$, $\bar{P}(H_2)$.

Таблица 1 – Данные экспертного оценивания изделий ВВТ

№ эксперта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Решения эксперта X	0	1	1	-1	1	1	0	-1	1	1	1
Вероятности ошибок экспертов 1-го и 2-го рода											
α	0	0,1	0,05	0,07	0,09	0,01	0,03	0,08	0,1	0,15	0,03
β	0	0,15	0,1	0,1	0,05	0,12	0,05	0,05	0,12	0,12	0,09
Оценки вероятности гипотез для сравниваемых альтернатив без учета ошибок ($\alpha = \beta = 0$)											
$P(H_1)$	0,50	0,67	0,75	0,60	0,67	0,71	0,71	0,63	0,67	0,70	0,73
$P(H_2)$	0,50	0,33	0,25	0,40	0,33	0,29	0,29	0,38	0,33	0,30	0,27
Оценки вероятности гипотез для сравниваемых альтернатив с учетом ошибок экспертов											
$P(H_1)$	0,50	0,65	0,74	0,60	0,62	0,74	0,71	0,59	0,64	0,63	0,73
$P(H_2)$	0,50	0,35	0,26	0,40	0,38	0,26	0,29	0,41	0,36	0,37	0,27
Оценки достоверности решений экспертов											
$D(H_1)$	0,50	0,92	0,97	0,93	0,97	0,95	0,98	0,97	0,94	0,94	0,97
$D(H_2)$	0,5	0,81	0,86	0,90	0,84	0,97	0,93	0,88	0,81	0,72	0,92

№ эксперта	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Решения эксперта X	0	-1	-1	1	1	0	1	-1	0	1	0
Вероятности ошибок экспертов 1-го и 2-го рода											
α	0,07	0,12	0,07	0,11	0,03	0,12	0,05	0,1	0,08	0,1	0
β	0,15	0,1	0,03	0,1	0,05	0,07	0,04	0,05	0,1	0,08	0
Оценки вероятности гипотез для сравниваемых альтернатив без учета ошибок ($\alpha = \beta = 0$)											
$P(H_1)$	0,73	0,67	0,62	0,64	0,67	0,67	0,69	0,65	0,65	0,67	0
$P(H_2)$	0,27	0,33	0,38	0,36	0,33	0,33	0,31	0,35	0,35	0,33	0
Оценки вероятности гипотез для сравниваемых альтернатив с учетом ошибок экспертов											
$P(H_1)$	0,72	0,62	0,58	0,61	0,66	0,61	0,67	0,60	0,63	0,63	0
$P(H_2)$	0,28	0,38	0,42	0,39	0,34	0,39	0,33	0,40	0,37	0,33	0
Оценки достоверности решений экспертов											
$D(H_1)$	0,94	0,95	0,98	0,94	0,97	0,96	0,98	0,97	0,94	0,96	0
$D(H_2)$	0,82	0,79	0,90	0,82	0,94	0,79	0,90	0,84	0,86	0,82	0

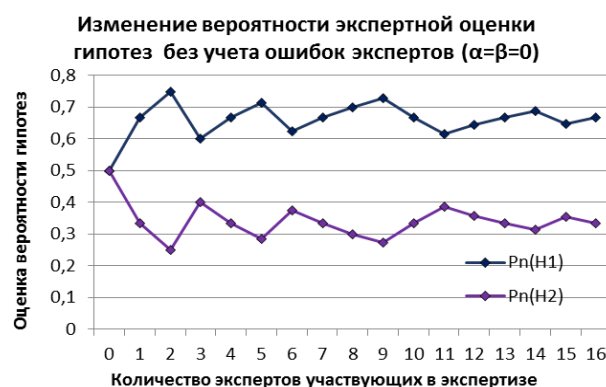


Рисунок 1 – Динамика вероятностей принятия гипотез в зависимости от числа экспертов

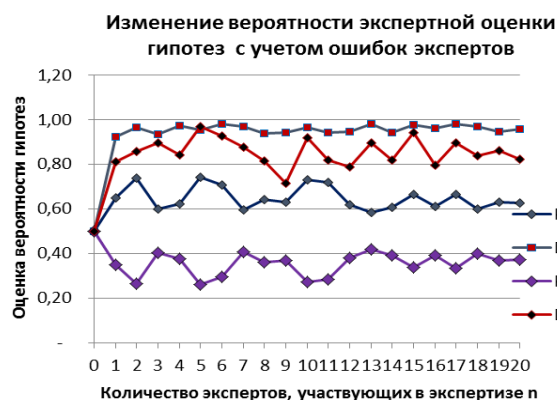


Рисунок 2 – Динамика вероятностей принятия гипотез с учетом вероятностей ошибок

Наличие ошибок экспертов, безусловно, снижает качество экспертизы, однако достоверность принимаемых решений остается достаточно высокой $D_{2n}(H_1) = 0,96$; $D_{2n}(H_2) = 0,82$.

Применение алгоритмов адаптации экспертов на основе доведения им информации о достигнутых результатах позволяет улучшить качество экспертизы. В таблице 2 приведены результаты расчета при адаптации экспертов по критерию порога различения гипотез (7). Здесь каждому последующему эксперту сообщалась величина достигнутого порога $\lambda_n = P_n(H_1)/P_n(H_2)_n$. В таблице они отмечены серым фоном ячейки.

Таблица 2 – Данные экспертного оценивания с адаптацией

№ эксперта	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Решения эксперта X	0	1	1	1	-1	1	1	-1	1
$P_n(H_1)$	0,50	0,67	0,75	0,80	0,67	0,71	0,75	0,67	0,70
$P_n(H_2)$	0,50	0,33	0,25	0,20	0,33	0,29	0,25	0,33	0,30
λ_n	1	1,86	1,96	2,94	1,83	2,10	2,36	1,54	1,71
$D_n(H_1)$	0,50	0,92	0,96	0,97	0,94	0,95	0,98	0,93	0,50
$D_n(H_2)$	0,94	0,97	0,96	0,97	0,95	0,98	0,97	0,95	0,96

№ эксперта	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Решения эксперта X	1	1	1	-1	1	1	1	1	0
$P_n(H_1)$	0,73	0,75	0,77	0,71	0,73	0,75	0,76	0,78	0
$P_n(H_2)$	0,27	0,25	0,23	0,29	0,27	0,25	0,24	0,22	0
λ_n	2,51	2,17	2,61	2,10	2,48	2,74	2,62	2,66	0
$D_n(H_1)$	0,97	0,96	0,97	0,95	0,98	0,97	0,95	0,96	0
$D_n(H_2)$	0,72	0,87	0,71	0,75	0,78	0,87	0,86	0,72	0

Из таблицы 2 видно, что два эксперта (№13, №16) поменяли свои оценки с учетом полученной информации о предыдущих результатах экспертизы. На рисунке 3 показаны изменения вероятностей экспертной оценки с учетом адаптации результатов экспертизы.

Из анализа таблиц 1, 2 и рисунков также видно, что при числе экспертов $n = 10$ достигается достаточно высокий порог различия гипотез $\lambda_n = 2,7$ с вероятностями $P_n(H_1) = 0,73$; $P_n(H_2) = 0,27$ и достоверностями $D_n(H_1) = 0,97$; $D_n(H_2) = 0,92$. С увеличением

числа экспертов в два раза порог различия гипотез снизился до уровня $\lambda_{2n} = 1,7$, также снизились вероятности принятия гипотез $P_{2n}(H_1) = 0,63$; $P_{2n}(H_2) = 0,33$ и их достоверности $D_{2n}(H_1) = 0,96$; $D_{2n}(H_2) = 0,82$. Данный результат свидетельствует о том, что увеличение числа экспертов с одинаковым или меньшим уровнем компетенции не способствует повышению достоверности принимаемых решений. Не случайно практика экспертного анализа показывает, что число экспертов должно находиться в пределах 8-10 человек. Адаптация экспертов с учетом группового мнения позволяет уменьшать их ошибки и повышать объективность экспертного оценивания.

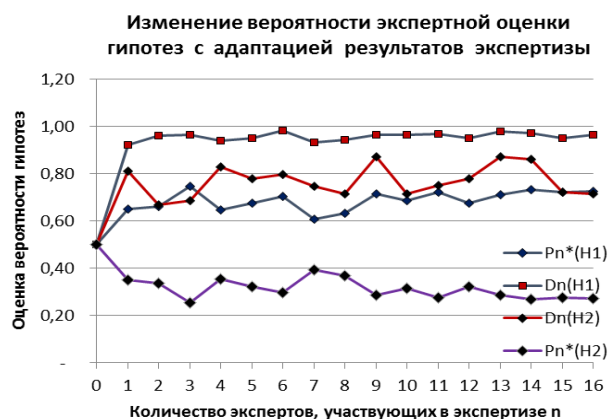


Рисунок 3 – Динамика вероятностей принятия гипотез с учетом адаптации результатов экспертизы

Вывод

Рассмотренный выше метод адаптивного экспертного оценивания позволяет без применения сложных алгоритмов многопараметрического анализа получить интегральную оценку сравниваемых альтернатив на основе знаний и опыта экспертов. Эти алгоритмы целесообразно использовать для обучения экспертных систем с применением искусственного интеллекта, так как здесь идет полная передача знаний и опыта человека машинному интеллекту [7].

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. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. М.: Статистика, 1980. 263 с.
3. Литвак Б.Г. Экспертная информация. Методы получения и анализа. М.: Радио и связь, 1982. 184 с.
4. Орлов А.И. Организационно-экономическое моделирование. Ч.2: Экспертные оценки. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. 486 с.
5. Семенов С.С. Оценка качества и технического уровня сложных систем: Практика применения метода экспертных оценок. М.: Ленанд, 2015. 352 с.
6. Саати Т.Л. Принятие решений: метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 320 с.
7. Буравлев А.И., Ветошкин В.М. Искусственный интеллект: сущность, принципы работы, области применения // Вооружение и экономика. 2024. №2(68). С. 33-42.

Информация об авторе

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

Научная статья
УДК 629.78

Современное состояние разработок в области космического мониторинга и слежения Европейских государств

Владимир Михайлович Григорошенко, Игорь Игоревич Олейников,
Олег Борисович Ачасов, Роман Геннадьевич Галич

Аннотация. В статье рассматриваются возможности системы Space Surveillance and Tracking Европейского союза, обеспечивающей мониторинг орбиты, прогноз повторного входа объектов и анализ фрагментации. Оценены преимущества гибкой настройки порогов риска, интеграции с порталами и API, а также ограничения, связанные с точностью данных и моделями прогнозирования. Работа демонстрирует, что комплексное наблюдение и анализ событий на орбите существенно повышают безопасность космических операций и требуют дальнейшего развития систем мониторинга для защиты граждан, инфраструктуры и устойчивого использования околоземного пространства.

Ключевые слова: космический мониторинг; предотвращение столкновений; анализ повторного входа; анализ фрагментации; орбитальная безопасность; прогнозирование траекторий; риск столкновений

Для цитирования: Григорошенко В.М., Олейников И.И., Ачасов О.Б., Галич Р.Г. Современное состояние разработок в области космического мониторинга и слежения Европейских государств // Вооружение и экономика. 2026. №3(77). С. 12-21.

Original article

Current state of developments in the field of space monitoring and tracking of European countries

Vladimir M. Grigoroshenko, Igor I. Oleinikov, Oleg B. Achasov, Roman G. Galich

Abstract. This article examines the capabilities of the European Union's Space Surveillance and Tracking system, which provides orbital monitoring, re-entry prediction, and fragmentation analysis. The advantages of flexible risk threshold settings, integration with portals and APIs, and limitations related to data accuracy and forecasting models are assessed. The study demonstrates that comprehensive observation and analysis of orbital events significantly improves the safety of space operations and requires further development of monitoring systems to protect citizens, infrastructure, and the sustainable use of near-earth space.

Keywords: Space Surveillance and Tracking; collision avoidance; re-entry analysis; fragmentation analysis; orbital safety; trajectory prediction; collision risk

For citation: Grigoroshenko V.M., Oleinikov I.I., Achasov O.B., Galich R.G. Current state of developments in the field of space monitoring and tracking of European countries. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2026; 77(3): 12-21. (In Russ.).

Введение

Современный этап развития космической деятельности характеризуется качественным усложнением околоземного космического пространства, обусловленным интенсивным ростом числа искусственных объектов, расширением круга участников космической деятельности и массовым развёртыванием многоспутниковых орбитальных группировок. Наиболее выраженные изменения наблюдаются на низких околоземных орбитах, где сосредоточено основное количество действующих космических аппаратов, включая аппараты связи, дистанционного зондирования и навигационного назначения. Одновременно возрастает доля малых космических аппаратов с ограниченным жизненным циклом, что приводит к увеличению частоты запусков и обновления орбитальных конфигураций.

Указанные процессы сопровождаются нарастанием рисков, связанных с повышенной вероятностью столкновений, образованием фрагментов космического мусора и усложнением прогнозирования орбитального движения [1]. В этих условиях мониторинг и слежение за космическим пространством перестаёт рассматриваться исключительно как задача обнаружения и каталогизации космических объектов. На современном этапе он

приобретает характер комплексного информационно-аналитического процесса, включающего сбор и интеграцию данных наблюдений, прогнозирование орбитальных событий, оценку рисков и поддержку принятия решений в интересах обеспечения безопасности и устойчивости космической деятельности.

Зарубежные государства в ответ на усложнение орбитальной среды реализуют космический мониторинг и слежение, который является частью компонента «Осведомленности о космической обстановке» (SSA) космической программы ЕС, принятой Европейским союзом в 2021 году с Регламентом (ЕС) 2021/696 Европейского парламента и Совета. Характерной особенностью данного процесса является формирование наднациональных и распределённых архитектур, обеспечивающих интеграцию национальных средств наблюдения и предоставление прикладных сервисов пользователям¹.

Обеспечение безопасности и устойчивости космической деятельности

В современных реалиях космос становится всё более насыщенным: появляются новые и разнообразные участники, развиваются крупные группировки спутников, а также увеличивается количество малых космических аппаратов. По оценкам, в настоящее время вокруг Земли вращается более 1 млн объектов, размер которых превышает 1 см. Быстроменяющаяся обстановка создаёт множество возможностей, но вместе с тем несёт в себе беспрецедентный риск столкновений и потенциальные угрозы, обусловленные двойственным характером космической деятельности.



Рисунок 1 – Иллюстрация космического мусора

Безопасность экономик, обществ и граждан Европы зависит от космических систем, таких как связь, навигация и наблюдение. Однако из-за растущей сложности орбитальной среды космические объекты все чаще подвергаются риску столкновения с другими действующими космическими аппаратами или мусором. В то же время объекты могут вновь войти в атмосферу и нанести ущерб на земле. Для снижения этих рисков нам необходимо иметь возможность обнаруживать и отслеживать такие объекты, а также предоставлять эту информацию различным заинтересованным сторонам.

Для решения вопроса космического мониторинга и слежения Европейским союзом предусматривается создание партнерства Space Surveillance and Tracking (SST), которое является международной или межведомственной инициативой, объединяющей технические средства и базы данных обнаружения, каталогизации и отслеживания искусственных объектов на околоземной орбите. После подписания соглашения о партнерстве SST в состав вошли национальные учреждения, представляющие 15 государств-членов Европейского союза (ЕС), через свои национальные структуры: Австрия (FFG), Чехия (MDCR), Дания

¹ Borowitz M., Pérez Hernández C., Hejduk M., Gillet A., Moury M., Faucher P. Technical Comparison of the Public SSA Services in the United States and the European Union // OSC, NOAA, U.S. Department of Commerce; EU SST. 2024. 18 Sep. URL: <https://www.space.commerce.gov/wp-content/uploads/2024-09-EUSST-TraCSS-comparison.pdf>; EU Space Surveillance and Tracking (EU SST). URL: <https://www.eusst.eu>

(DALO), Финляндия (FMI), Франция (CNES), Германия (Немецкое космическое агентство в DLR), Греция (NOA), Италия (ASI), Латвия (IZM), Нидерланды (EZ), Польша (POLSA), Португалия (PT MoD), Румыния (ROSA), Испания (AEE) и Швеция (SNSA)².

Система SST представляет собой сеть наземных и космических средств, способных осуществлять наблюдение и отслеживание космических объектов, а также средства обработки данных, предназначенные для предоставления данных, информации и услуг о космических объектах, вращающихся вокруг Земли [2]. Сервисы системы SST оценивают риск столкновений на орбите и неконтролируемого возвращения космического мусора в атмосферу Земли, а также обнаруживают и характеризуют фрагменты на орбите.

К основным возможностям системы SST относятся 3 компонента: наблюдательные средства, обработка данных и предоставление услуг [3]. Средства наблюдения государств-членов «Механизма поддержки космического наблюдения и слежения» (EU SST), который разрабатывает и запускает операционную систему для предоставления общедоступных услуг сервисов по предотвращению столкновений (collision avoidance), оценки возврата в атмосферу (re-entry analys) и анализу фрагментации (fragmentation analys), работавшую в режиме 24/7. Представленные данные анализируются в рамках функции обработки и поступают в общую базу данных и в конечном итоге в каталог; на этой основе создаются продукты для трех служб, которые генерируются операционными центрами и предоставляются пользователям через портал предоставления услуг SST (SST Portal).

По состоянию на апрель 2025 года для работы на EU SST привлекается более 60 средств наблюдения. Средства располагаются как в континентальной Европе, так и в других частях света (рисунок 3). Члены EU SST, владеющие этими ресурсами, предоставляют результаты наблюдений на регулярной основе или по запросу, в зависимости от типа средства.



Рисунок 2 – Кооперация SST

² EU Space Surveillance and Tracking. Facts and figures // SST Cooperation. 2025. URL: https://www.eusst.eu/sites/default/files/documents/SST_Factsheet_v2.pdf

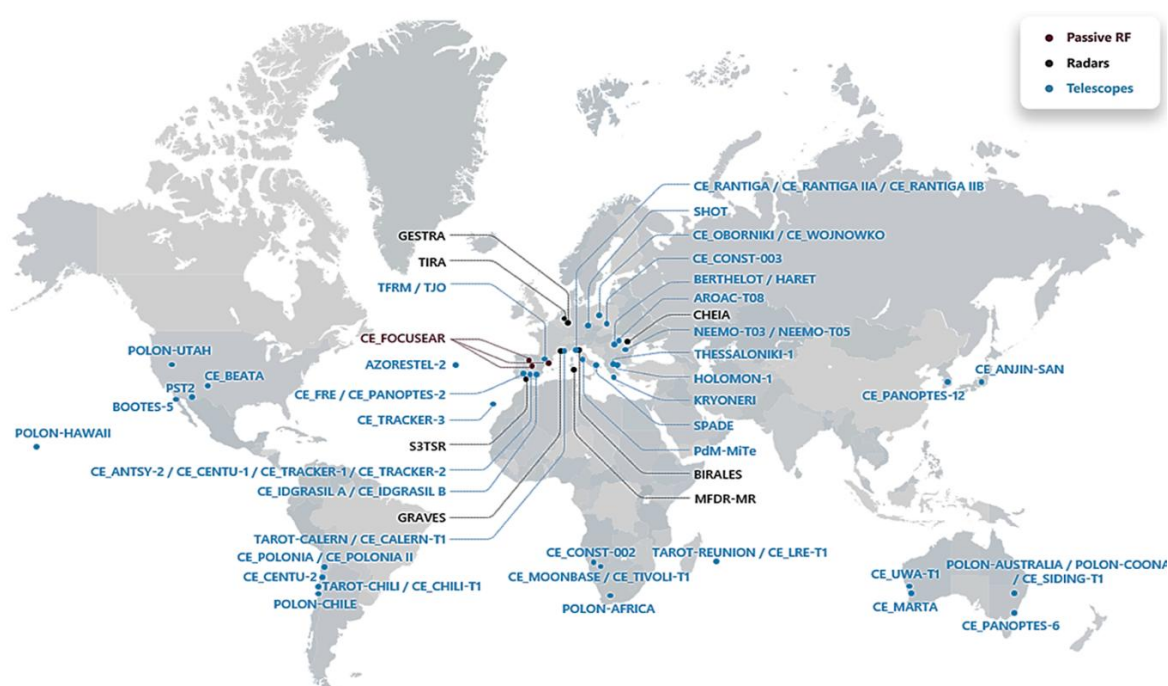


Рисунок 3 – Сеть средств системы SST (по состоянию на апрель 2025 года)

В результате работы EU SST более 200 организаций получают услуги, и более 500 спутников защищены от риска столкновения. На рисунке 4 представлена схема взаимодействия сервисов EU SST³.

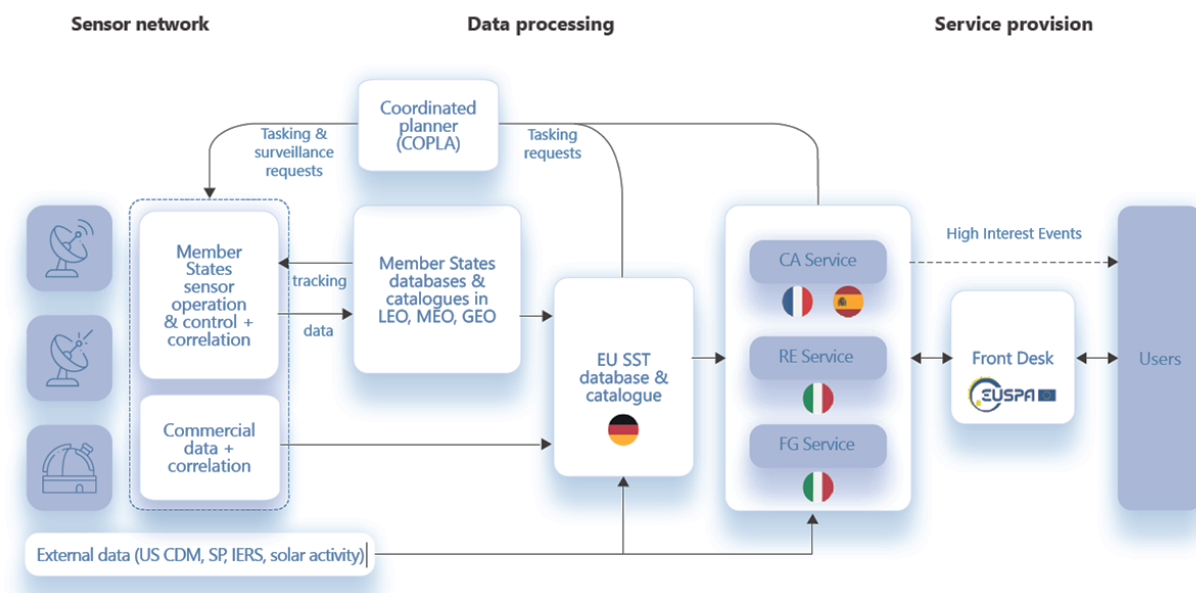


Рисунок 4 – Схема взаимодействия сервисов EU SST

³ Faucher P. European Union Space Surveillance and Tracking: State of Affairs in 2024 and Strategic Vision // SSRN. 2024. 25 Apr. 20 p. doi:10.2139/ssrn.4806966

Услуги SST предоставляются по запросу всем государствам-членам ЕС, учреждениям ЕС, владельцам и операторам космических аппаратов, а также другим государственным и частным организациям. Оказание данных услуг осуществляется за счет реализации системой EU SST трех основных сервисов, предоставленных на схеме взаимодействия (рисунок 4).

Начнём с рассмотрения основных особенностей сервиса предотвращения столкновения (CA), который обеспечивает оценку риска столкновений между космическими аппаратами, а также между космическими аппаратами и космическим мусором, и генерирует предупреждения о столкновениях. Услуги сервиса предоставляются по всему миру и круглосуточно с целью обнаружения:

1. Информационных событий (INFO): сближений с низким уровнем риска.
2. Интересных событий (IEs): близких сближений, требующих дальнейшего анализа в связи с уровнем риска.
3. Событий, представляющих высокий интерес (HIEs): близких сближений с высоким уровнем риска, потенциально требующих выполнения маневров по предотвращению столкновений (CAMs) со стороны владельца/оператора.

Сервис CA – это настраиваемый пользователем сервис, который позволяет пользователю настраивать пороговые значения для классификации уровней риска (т.е. HIE, IE и INFO) и получать рекомендации по CAM-системам (Computer-Aided Manufacturing) на основе геометрических, вероятностных и временных переменных. Услуга CA предоставляется по схеме горячего резервирования с участием французского и испанского операционных центров (ОЦ) (FR-SSA и S3TOC), при которой два разных центра готовы предоставлять услуги в качестве единого поставщика услуг (рисунок 5).

Сервис CA предоставляет три типа продуктов: сообщение о сближениях CDM (Conjunction Data Message), отчёты, связанные с каждым CDM, и ежемесячные отчёты. Предоставление услуги сервиса CA пользователям и номинальным оперативным центром осуществляется через Портал системы SST и позволяет пользователям:

1. Получать доступ к событиям CA и информации о продуктах обслуживания или загружать их через REST API (интерфейс, основанный на архитектурном стиле REST, который позволяет программам обмениваться данными через Интернет с помощью стандартных HTTP-методов), или веб-интерфейс.
2. Загружать эфемериды и информацию о маневрах (или файлы любого другого типа) через REST API или веб-интерфейс.
3. Просматривать эволюцию сближений (например, точку пересечения, масштабированную точку пересечения, расстояния до сближения).
4. Загружать соответствующий документ с конфигурацией службы CA и управлять новыми версиями.
5. Настраивать конфигурацию службы CA для отправки уведомлений по электронной почте.



ОЦ Франции (FR-SSA)



ОЦ EUSPA SST

Рисунок 5 – Общий вид операционных центров SST

Тем самым данный сервис обеспечивает непрерывный глобальный мониторинг сближений объектов на орбите, позволяя заблаговременно оценивать риски и планировать маневры. Его гибкая настройка порогов риска и доступ через портал или API повышают оперативность и индивидуализацию управления, а горячее резервирование обеспечивает надежность. Однако эффективность ограничена точностью исходных данных о траекториях и потенциальной задержкой анализа сложных сближений, что может снизить своевременность рекомендаций при высоких скоростях движения объектов [4]. Сервис СА значительно повышает безопасность орбитальных операций, но требует постоянного совершенствования моделей прогнозирования.

Далее рассмотрим сервис анализа повторного входа (RE), который занимается оценкой рисков, связанных с неконтролируемым возвращением космических объектов в атмосферу Земли. Такие объекты могут представлять угрозу для безопасности граждан ЕС и наземной инфраструктуре. Для анализа используются все доступные данные (информация от средств наблюдения, входящих в систему SST EU, а также другие сведения о повторном входе из внешних источников). На основе этих данных составляются долгосрочные (до 30 дней) и краткосрочные (на несколько дней) прогнозы повторного входа.

Основные функции сервиса выполняет Итальянский операционный центр (C-SSA), регулярно отслеживающий все корпуса ракет, интересующие объекты и объекты массой более 2000 кг. Когда такие объекты приближаются к атмосфере, C-SSA отправляет запросы всем средствам наблюдения системы EU SST для получения дополнительных данных и повышения точности прогнозов. При возможности генерируются автономные отчеты.

Сервис настраивается таким образом, чтобы пользователи могли выбирать интересующие их области (AOI) в виде стран ЕС и прилегающих к ним территорий и получать соответствующие продукты для зоны входа в атмосферу. Учитывая неопределенность, связанную с прогнозированием возвращения в атмосферу, зона поражения определяется на основе анализа пролёта без какой-либо уверенности в том, что возвращающиеся объекты поразят указанную территорию.

Предоставление услуги RE между авторизованными пользователями и операционным центром осуществляется через Портал системы SST (рисунок 6), который позволяет пользователям:

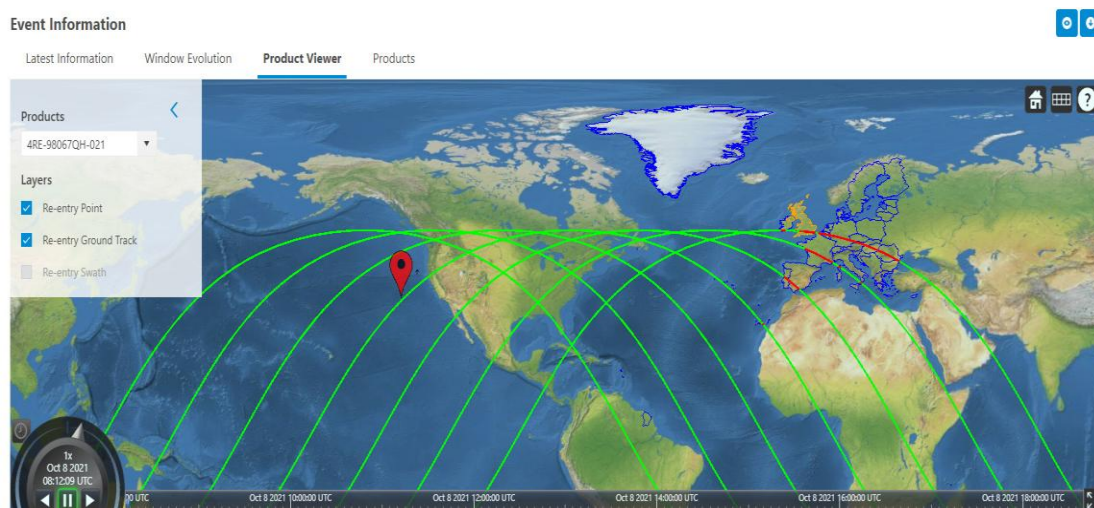


Рисунок 6 – Программа просмотра продукции сервиса RE

1. Получать доступ к информации о продуктах RE или загружать отчеты RE через REST API или веб-интерфейс.
2. Настраивать список повторных обращений за 30 дней или конфигурацию уведомлений по электронной почте для отчетов RE, включая индекс риска.

3. Просматривать прогноз изменения окна повторного входа для конкретного космического объекта.

4. Настраивать области интереса пользователя.

5. Получать доступ к статистическим отчётам пользователей сервиса RE.

Тем самым данный сервис повышает безопасность граждан и инфраструктуры ЕС, обеспечивая прогнозы неконтролируемого возвращения космических объектов на срок до 30 дней. Использование данных SST и внешних источников позволяет улучшать точность прогнозов, а настройка зон интереса и интеграция с порталом и API повышают оперативность и персонализацию информации. Ограничением остаётся неопределённость траекторий и зон поражения, что снижает гарантии предсказаний при сложных сценариях. Тем не менее сервис RE существенно укрепляет стратегию защиты от космических угроз и поддерживает информированное принятие решений по рискам повторного входа.

В заключение рассмотрим возможности сервиса анализа фрагментации (FG) обеспечивающего обнаружение и определение характеристик фрагментации на орбите. Вся доступная информация (данные от средств наблюдения, участвующих в системе отслеживания состояния спутников Европейского союза, и другая информация о фрагментации из внешних источников) подвергается краткосрочному, среднесрочному и долгосрочному анализу, по результатам которого предоставляются различные продукты FG.

Основными функциями сервиса является предоставление краткосрочных, среднесрочных и долгосрочных анализов.

Краткосрочный анализ FG направлен на быстрое подтверждение события фрагментации и предоставляет:

1. Источники данных (от датчиков, участвующих в программе EU SST, и/или из внешних источников).

2. Характеристика события фрагментации (например, тип события фрагментации), количество обнаруженных фрагментов, орбитальный режим.

3. Идентификация и характеристика объекта (объектов) (например, тип объекта, апогей/перигей родительского объекта (объектов) во время события).

Среднесрочный анализ FG предоставляет более подробную информацию о событии на основе орбитальных параметров зарегистрированных фрагментов и включает:

1. Распределение фрагментов, представленное в виде визуальной информации (например, диаграмма Габбарда).

2. 3D-график положения объекта (объектов) в момент события.

3. 3D-эволюция облака фрагментов на момент создания отчета и через 1-2 месяца.

4. Дисперсия орбитальных параметров фрагментов в разные моменты времени.

5. Анализ риска раннего столкновения для определенных высотных слоев, включая интересующие объекты (например, группировки Galileo и Copernicus).

Долгосрочный анализ FG проводится на основе информации, доступной для каждого события FG, и дополняет предыдущие исследования следующей информацией:

1. Обновлении данных о событии.

2. Моделировании события с использованием адекватной модели распада/столкновения.

3. Количестве фрагментов размером более 7 см.

4. Распределении соотношения площади и массы.

5. Распределении дельта-скорости.

6. Эволюции пространственной плотности объектов.

Предоставление услуги FG осуществляется между авторизованными пользователями и операционным Порталом системы SST (рисунок 7) и с его помощью пользователи могут получить:

1. Просматривать информацию о продуктах сервиса FG или загружать их через REST API, либо веб-интерфейс.

2. Получать электронные уведомления о выходе новых или обновлённых продуктов FG.

3. Знакомиться со статистическими отчётами по пользователям сервиса FG.

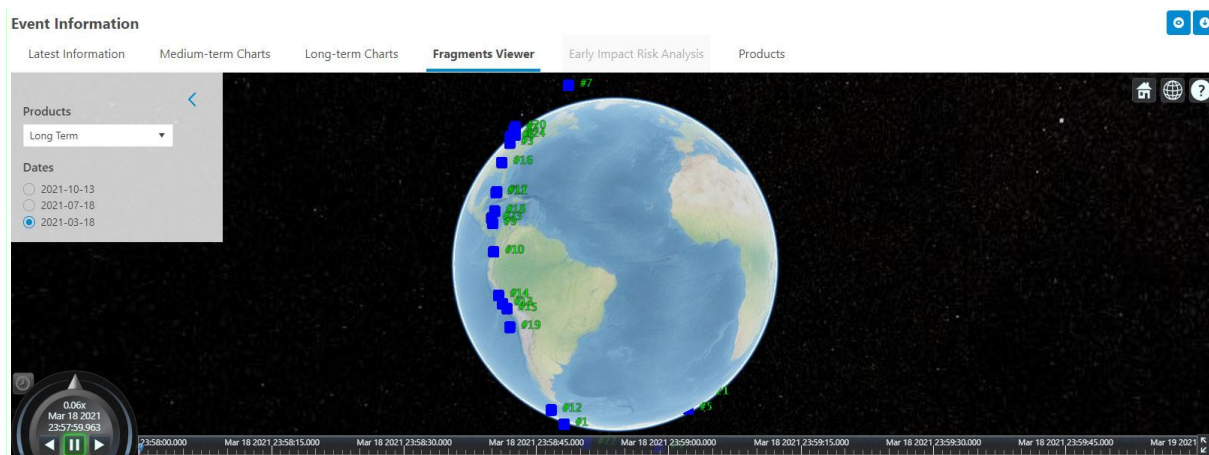


Рисунок 7 – Средство просмотра фрагментов услуги FG на портале SST

Тем самым данный сервис обеспечивает комплексное наблюдение и оценку событий разрушения объектов на орбите, позволяя быстро подтверждать фрагментацию, моделировать распределение обломков и прогнозировать риски столкновений [5]. Многоуровневый подход – краткосрочный, среднесрочный и долгосрочный анализ – повышает точность и информативность оценок, включая 3D-визуализацию и эволюцию облака фрагментов. Ограничениями остаются зависимость от качества исходных данных и неопределённость моделей распада объектов. Тем не менее сервис FG существенно усиливает возможности прогнозирования орбитальной опасности и поддержки безопасной эксплуатации группировок спутников.

НИОКР SU SST

Для обеспечения устойчивого долгосрочного развития и совершенствования системы наблюдения и слежения за космическими объектами ЕС в рамках сотрудничества SST разработан план НИОКР до 2028 года, включающий комплекс мероприятий по разработке аппаратного и программного обеспечения. Выбор объектов разработки и результатов, подлежащих доведению до стадии предэксплуатации, осуществляется на основе архитектурных исследований и проектирования системы. Этот процесс позволяет EU SST оценивать и выбирать виды деятельности, обеспечивающие наивысшее качество и добавленную стоимость, а также предлагать экономически эффективные услуги по наблюдению и слежению за космическими объектами, прогнозируя потребности и готовясь к будущему.

Для реализации плана ЕС по НИОКР члены Партнерства SU SST координируют исследовательскую деятельность в рамках программы ЕС по научным исследованиям и разработкам в соответствии с национальными программами НИОКР, но и активно привлекают промышленность, академические круги и стартапы к развитию исследовательской деятельности, при этом около 80% инвестиций распределяется по субподрядам.

Основными направлениями НИОКР-проектов по плану до 2028 года являются:

1. Функциональные действия средств наблюдения (использование существующих технологий или разработка новых, применимых к средствам):

- использование телескопов совместно с РЛС для каталогизации объектов в орбитальном режиме на высоких орбитах и совместно с лазерами для наблюдения за объектами на всех орбитах;

- применение методов искусственного интеллекта и глубокого обучения для улучшенного обнаружения и оценки характеристик находящихся в космосе объектов.

2. Применение методов искусственного интеллекта и глубокого обучения для улучшенного обнаружения и оценки характеристик находящихся в космосе объектов.

3. Использование пассивных радиочастотных средств для улучшения знаний и характеристик маневрирующих объектов на всех орбитах.

4. Эксплуатация космических систем наблюдения в дополнение к наземным.
 5. Создание инновационного планировщика для всей сети сенсоров SU SST.
 6. Деятельность по обработке данных (разработка новых подходов к алгоритмам обработки данных для совершенствования каталогизационной деятельности и услуг):
 - совершенствование методов обнаружения маневров и улучшения корреляции и определения орбиты;
 - создание единого европейского каталога орбитальных параметров объектов;
 - разработка методов определения орбиты (в частности, для первоначального определения орбиты), позволяющих объединять радиолокационные и оптические измерения данных;
 - разработка алгоритмов для улучшения количественной оценки и распространения неопределенностей для каталогизации и предоставления услуг SST;
 - разработка методов обнаружения столкновений и расчета вероятности столкновения спутников, движущихся с малыми относительными скоростями (например, созвездий).
 7. Деятельность по предоставлению услуг (анализ потенциальных новых услуг SST для улучшения и дополнения текущего портфеля услуг):
 - повышение автономности спутников для прогнозирования и реагирования на риск столкновения;
 - новые услуги по обеспечению безопасности полетов, такие как радиочастотные помехи, поддержка запуска, ранний этап вывода на орбиту и операции по завершении срока службы;
 - поддержка при непредвиденных обстоятельствах и аномалиях на орбите;
 - поддержка активного удаления мусора и операций по сближению на орбите;
 - коммуникационная и координационная платформа для космических операторов.
- Перечисленные мероприятия направлены на достижение надлежащего уровня автономии в области космического наблюдения и слежения и позволят консолидировать EU SST в качестве европейского потенциала координации космического движения.

Заключение

Анализ работы сервисов SST показывает, что комплексное наблюдение и оценка рисков на орбите существенно повышают безопасность космических операций. Сервис предотвращения столкновений (CA) обеспечивает глобальный мониторинг сближений, позволяя прогнозировать потенциальные маневры и снижать вероятность инцидентов. Сервис анализа повторного входа (RE) позволяет заблаговременно оценивать угрозу неконтролируемого возвращения объектов в атмосферу, повышая безопасность граждан и инфраструктуры. Сервис анализа фрагментации (FG) обеспечивает детальное моделирование событий разрушения, позволяя отслеживать облака обломков и прогнозировать риски столкновений.

Эффективность данных сервисов определяется точностью исходных данных, качеством моделей прогнозирования и интеграцией с инструментами пользователей. Их гибкая настройка, доступ через порталы и API, а также возможность горячего резервирования обеспечивают надёжность и оперативность предоставления информации. Одновременно остаются ограничения, связанные с неопределённостью траекторий и характеристик объектов, что требует постоянного совершенствования аналитических моделей и расширения сети наблюдений.

Применение и дальнейшее развитие систем космического мониторинга и слежения, подобных SST, является ключевым фактором обеспечения устойчивой эксплуатации орбитальных группировок. Расширение сети наблюдений, совершенствование алгоритмов прогнозирования и интеграция с международными партнёрствами позволит минимизировать риски для инфраструктуры, повысить информированность операторов и укрепить безопасность космического пространства в условиях роста числа участников и усложнения орбитальной среды.

Список источников

1. Миронов В.В., Усовик И.В. Ретроспектива проблемы космического мусора. Часть 1. Техногенное засорение космического пространства и средства его контроля // Космические исследования. 2020. Т.58. №2. С. 117-130. doi:10.31857/S0023420620020089.
2. Усовик И.В., Морозов А.А. Разработка системы мониторинга некаталогизируемого космического мусора // Вестник Московского авиационного института. 2023. Т.30. №4. С. 202-209.
3. Faucher P., Peldszus R., Gravier A. Operational space surveillance and tracking in Europe // Journal of Space Safety Engineering. 2020. Vol.7. Iss.3. P. 420-425. doi:10.1016/j.jsse.2020.07.005.
4. Каратунов М.О., Баранов А.А., Голиков А.Р. Оценка вероятности столкновения околоземных космических объектов с учетом формы и ориентации // Космические исследования. 2021. Т.59. №5. С. 385-392. doi:10.31857/S002342062105006X.
5. Ипатов А.В., Ведешин Л.А., Герасютин С.А. Мониторинг космического мусора и перспективы освоения околоземного космического пространства // Земля и Вселенная. 2024. №2. С. 91-108. doi:10.7868/S0044394824020063.

Информация об авторах

В.М. Григорошенко – кандидат технических наук, старший научный сотрудник.
И.И. Олейников – доктор технических наук, старший научный сотрудник.
О.Б. Ачасов – кандидат технических наук, доцент.
Р.Г. Галич – кандидат технических наук.

Научная статья
УДК 621.454.2

Подходы к выбору рациональных вариантов программы создания жидкостного ракетного двигателя ракеты-носителя в условиях ограниченных объемов испытаний и сроков выполнения

**Александр Васильевич Белянкин, Евгений Николаевич Семенов,
Сергей Юрьевич Герасименко, Сергей Юрьевич Пирогов**

Аннотация. В публикации рассматривается вопрос генерации множества вариантов программы создания жидкостного ракетного двигателя ракеты-носителя в условиях ограниченных объемов испытаний и сроков выполнения программы. Предлагается подход поэтапного снижения мощности полученного множества вариантов программы создания жидкостного ракетного двигателя за счет учета расширенного перечня факторов, влияющих на реализуемость программы создания. Предлагается подход к выбору рациональных вариантов программы создания жидкостного ракетного двигателя в условиях ограничений на объемы испытаний и сроки выполнения программы по степени реализуемости.

Ключевые слова: жидкостный ракетный двигатель; ракета-носитель; программа создания; рациональный вариант; степень реализуемости

Для цитирования: Белянкин А.В., Семенов Е.Н., Герасименко С.Ю., Пирогов С.Ю. Подходы к выбору рациональных вариантов программы создания жидкостного ракетного двигателя ракеты-носителя в условиях ограниченных объемов испытаний и сроков выполнения // Вооружение и экономика. 2026. №3(77). С. 22-36.

Original article

Approaches to the Rational Options Selection of a Liquid Rocket Engine Development Program for a Launch Vehicle under Conditions of Limited Extent of Tests and Deadlines

Aleksandr V. Beliankin, Evgenii N. Semenov, Sergei I. Gerasimenko, Sergei I. Pirogov

Abstract. The publication discusses the issue of multiple variants of a program development for a liquid-propellant launch vehicle engine under conditions of limited extent of test and deadlines. An approach is proposed to gradually the power reduction of the resulting set of variants of development program by taking into account an expanded list of factors affecting the program feasibility. An approach is proposed certain rational options selection for a liquid rocket engine development program under conditions of limited extent of tests and the program duration according to the degree of feasibility.

Keywords: liquid rocket engine; launch vehicle; development program; rational option; degree of feasibility

For citation: Beliankin A.V., Semenov E.N., Gerasimenko S.I., Pirogov S.I. Approaches to the Rational Options Selection of a Liquid Rocket Engine Development Program for a Launch Vehicle under Conditions of Limited Extent of Tests and Deadlines. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2026; 77(3): 22-36. (In Russ.).

Введение

Формирование космической инфраструктуры и совершенствование средств выведения является важнейшей государственной задачей [1]. Одним из путей решения такой комплексной задачи является создание новых или модернизация существующих жидкостных ракетных двигателей (ЖРД), отвечающих современным требованиям [2]. При создании новых ЖРД средств выведения космических аппаратов (КА) необходимо оптимизировать финансовые и материальные расходы и повышать надежность ЖРД. Создавать новые ЖРД целесообразно в ограниченные сроки, пока разрабатываемая система не устарела морально и физически, и с минимально необходимым объемом дорогостоящих натурных испытаний.

Решение этой задачи путем традиционной экспериментальной отработки и принципа построения программы создания ЖРД уже неэффективно, требует огромных материальных затрат и большого времени. При этом зачастую выбор варианта программы создания ЖРД не учитывает влияние на его реализуемость существующих системных проблем в ракетно-космической промышленности (РКП) и ее научно-технический потенциал (уровень). Также

следует подчеркнуть, что объем выборки предлагаемых вариантов программы создания ЖРД под перспективные средства выведения КА достаточно мал и не обеспечивает гибкость принятия решения при изменяющихся условиях. При этом существующий подход не позволяет учесть влияние условий ограниченных объемов испытаний и сроков выполнения программы.

Очевидно, что потребуются применение нового подхода, который позволит сформировать наиболее полное множество альтернативных вариантов программы создания ЖРД в условиях ограниченных объемов испытаний и сроков выполнения и провести процедуру выбора рациональных вариантов.

Постановка задачи исследования

При выборе рациональных вариантов программы создания ЖРД в условиях ограниченных объемов испытаний и сроков выполнения программы необходимо решать следующие основные задачи:

- формирование единой системы исходных данных;
- генерация множества вариантов программы создания ЖРД;
- оценка реализуемости вариантов программы создания ЖРД в условиях ограниченных объемов испытаний и сроков выполнения программы;
- выбор рациональных вариантов программы создания ЖРД по степени реализуемости при заданных ограничениях.

Под степенью реализуемости варианта программы создания ЖРД понимается количественная оценка степени достижения поставленной цели при заданных условиях и ограничениях. Такая оценка базируется на сравнении технико-экономических показателей вариантов программы создания ЖРД с заданными условиями и ограничениями и определении значений реализуемости вариантов программы создания ЖРД. Степень реализуемости варианта программы создания ЖРД необходима в дальнейшем для решения задачи выбора, основанного на сравнении вариантов и определении рациональных вариантов. Чем больше количество вариантов подвергается сравнительному анализу, тем ближе рекомендуемое решение к оптимальному и тем выше эффективность использования ресурсов [3].

Содержательная постановка задачи исследования

Дано: $Z_{\{K\}} = \{z_1, z_2, \dots, z_K\}$ – перечень задач по выведению КА заданной массы на заданную орбиту $k \in \{1, 2, \dots, K\}$; $T_{\text{пр.с.}}^{\text{ТР}}$ – заданное время на выполнение программы создания ЖРД; $B_{\{N\}} = \{b_1, b_2, \dots, b_N\}$ – набор составных частей и элементов ЖРД $n \in \{1, 2, \dots, N\}$; $V_{\{3\}} = \{V_{\text{авт}}, V_{\text{ки}}, V_{\text{ли}}\}$ – суммарный объем испытаний, закладываемый в программу создания ЖРД; $P_{\text{жрд}}^{\text{пр}}$ – прогнозный уровень надежности по результатам выполнения программы создания ЖРД; $M_{\{L\}} = \{m_1, m_2, \dots, m_L\}$ – перечень организационно-технических мероприятий, планируемых в программе создания ЖРД $l \in \{1, 2, \dots, L\}$; $C_{\text{пр.с.}}^{\text{пр}}$ – прогнозная ресурсоемкость программы создания ЖРД; $x_n^{\text{эт.}} = \{x_1^{\text{эт.}}, x_2^{\text{эт.}}, \dots, x_N^{\text{эт.}}\}$ – последовательность этапов программы создания ЖРД; $D^{\text{жрд}} = \{P_k, p_k, N_{\text{к.с.}}, n_{\text{кр.и.}}, n_{\text{кр.вкл.}}, t_p, I\}$ – технические характеристики и параметры ЖРД; $W = \{w_1^{\text{пр.с.}}, w_2^{\text{пр.с.}}, \dots, w_I^{\text{пр.с.}}\}$ – множество возможных вариантов программы создания ЖРД средств выведения КА $i \in \{1, 2, \dots, I\}$.

Найти: Множество рациональных вариантов программы создания ЖРД $\{W_{\text{рац}}^*\}$, удовлетворяющее следующим ограничениям:

$$\begin{cases} T_{\text{пр.с.}}(W) \leq T_{\text{пр.с.}}^{\text{ТР}}; \\ V(W) \leq V^{\text{ТР}}; \\ P_{\omega \text{ ПРАВ}}(W) \geq 0,8; \\ K_3(W) \leq 0,2. \end{cases} \quad (1)$$

Принцип выбора рациональных вариантов программы создания ЖРД по степени реализуемости в условиях ограниченных объемов испытаний и сроков выполнения программы представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Принцип выбора рациональных вариантов программы создания ЖРД по степени реализуемости в условиях ограниченных объемов испытаний и сроков выполнения

Подход к выбору рациональных вариантов программы создания ЖРД

В соответствии с принципом выбора рациональных вариантов программы создания ЖРД и перечнем основных задач, решаемых при выборе таких вариантов в первую очередь необходимо сформировать единую систему исходных данных, позволяющую варьировать основными компонентами программы создания ЖРД. Единая система исходных данных (ЕСИД) позволяет упорядочить поле данных и упростить механизмы работы с ним, также обеспечить понимание физической сущности ЖРД и его характеристик (параметров), использовать единый подход к варьированию компонентами программы создания ЖРД. ЕСИД – это одно из главных условий, при выполнении которого могут быть получены сравнимые и объективные оценки различных вариантов программы создания ЖРД в условиях ограниченных объемов испытаний и сроков выполнения программы [4]. Компоненты ЕСИД формируются путем внесения положений программно-целевых документов, относящихся к перспективам развития средств выведения и к их составным частям; результатов научной деятельности; общих и дополнительных технических требований к ЖРД и опытных данных по разработке, производству и эксплуатации ЖРД. Такой объем исходных данных позволяет перейти к генерации множества вариантов программы создания ЖРД путем варьирования основных компонент программы создания ЖРД (рисунок 2).

Следующим этапом разработанного подхода является процедура формирования альтернативных вариантов программы создания ЖРД в условиях ограниченных объемов испытаний и сроков выполнения программы. Формирование альтернативных вариантов программы создания ЖРД проводится в соответствии с алгоритмом, представленным на рисунке 3.

Основными этапами алгоритма (рисунок 3) являются:

- определение располагаемых объемов финансовых ресурсов, которые могут быть выделены на программный период создания ЖРД. Для ориентировочных расчетов располагаемых финансовых средств может быть предложена следующая формула:

$$V_{\Phi}^p = \text{ВВП} \cdot (\alpha + \beta) + V_K^p, \quad (2)$$

где: ВВП – прогнозный объем валового внутреннего продукта в рассматриваемый период (принимается по данным Минэкономразвития России), руб.; α – статистический коэффициент, соответствующей средней доле финансирования работ в рамках госпрограммы вооружения (ГПВ) Минобороны России в ВВП за последние 3-5 лет; β – статистический коэффициент, соответствующий средней доле объема финансирования работ по Федеральной космической программе в ВВП за последние 3-5 лет; V_K^p – располагаемые объемы финансирования коммерческими инвесторами.

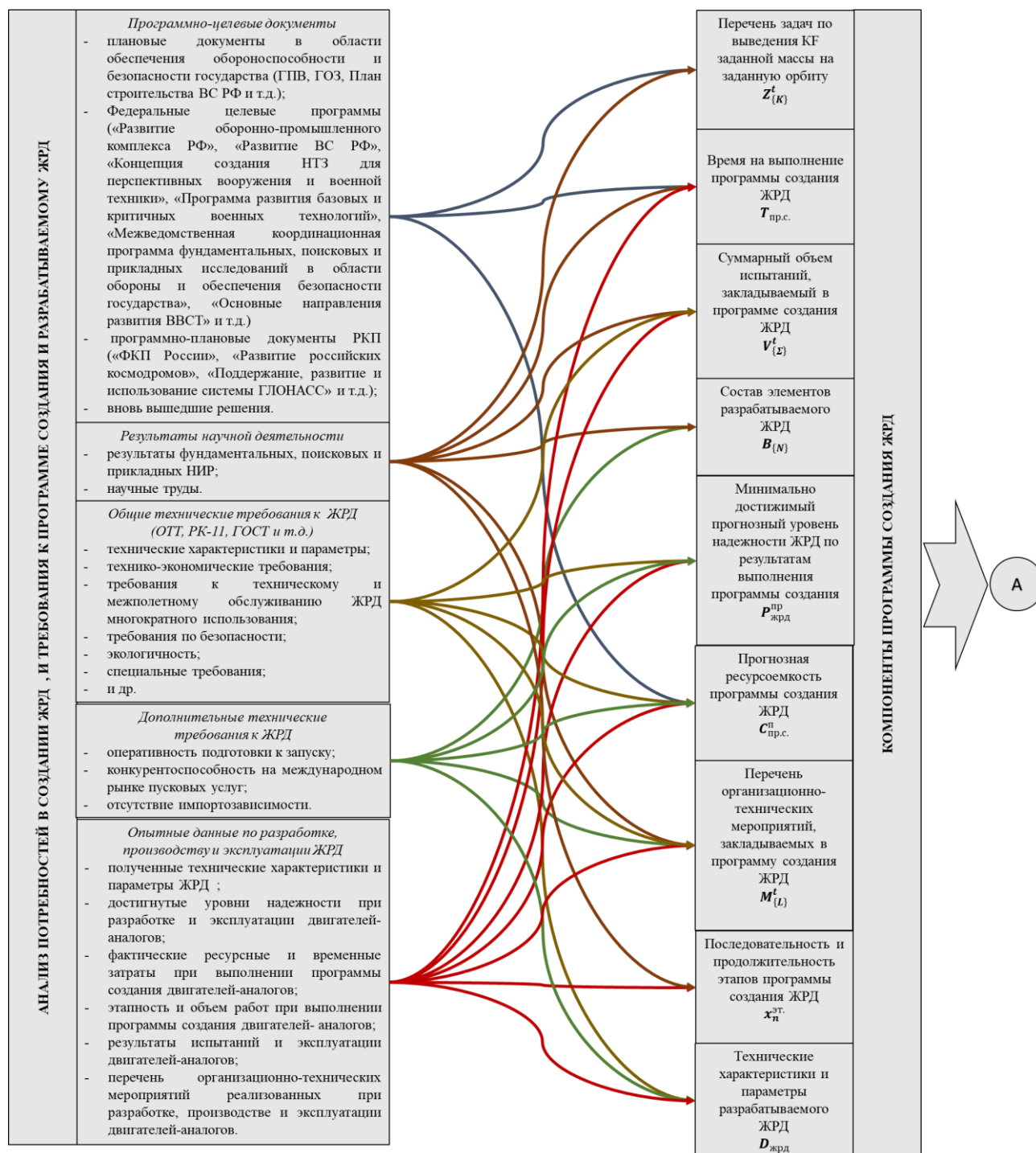


Рисунок 2 – Схема генерации множества вариантов программы создания ЖРД

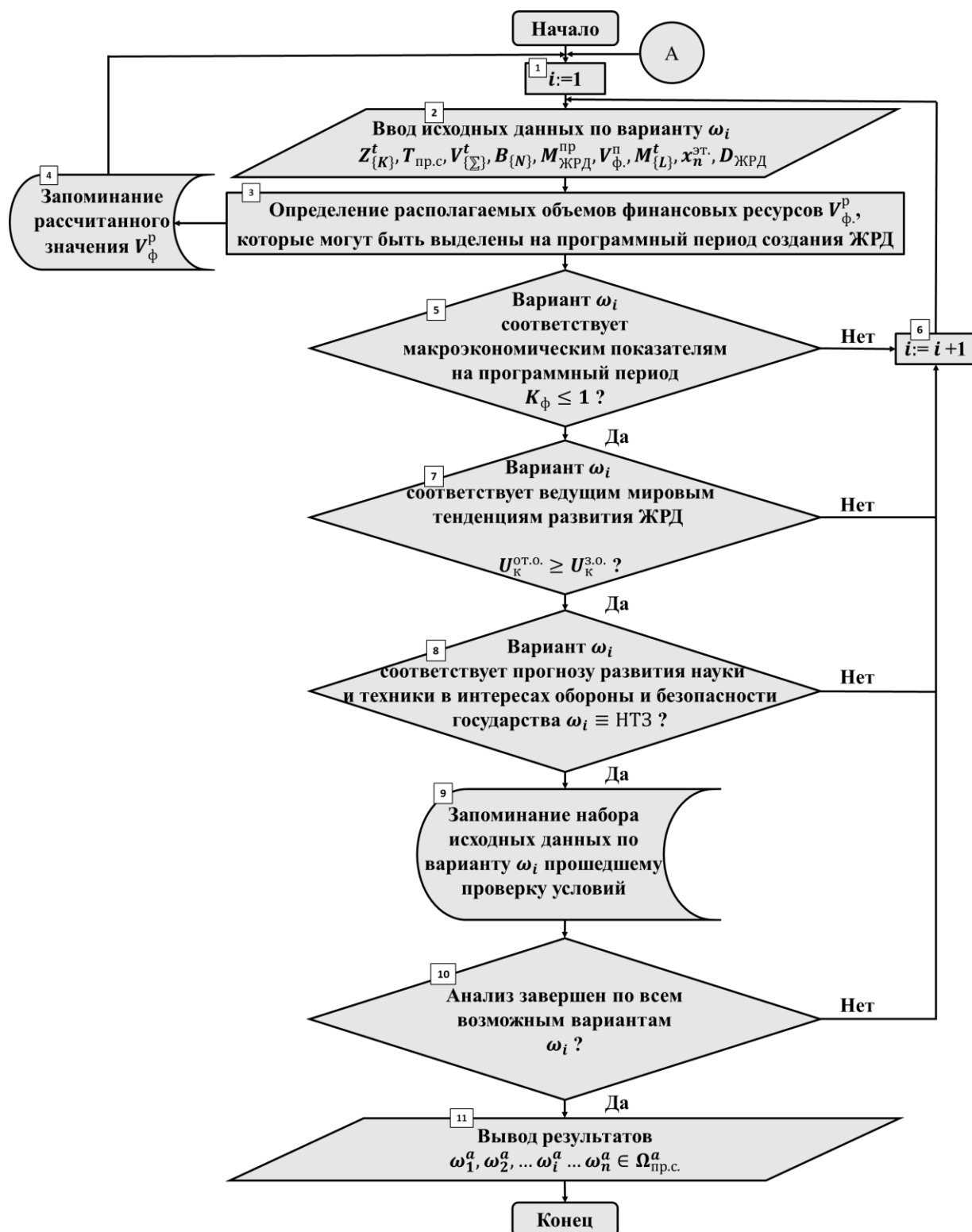


Рисунок 3 – Алгоритм формирования альтернативных вариантов программы создания ЖРД в условиях ограниченных объемов испытаний и сроков выполнения программы

- определение показателя обеспеченности финансовыми средствами. Показатель характеризует достаточность выделяемых финансовых средств для выполнения программы создания ЖРД. Показатель рассчитывается как в целом на всю программу, так и по отдельным компонентам программы по формуле:

$$K_{\phi} = \frac{V_{\phi}^{\pi}}{V_{\phi}^p} = \frac{V_{\text{ниокр}}^{\pi} + V_{\text{сп}}^{\pi}}{V_{\text{ниокр}}^p + V_{\text{сп}}^p}, \quad (3)$$

где: K_{ϕ} – показатель обеспеченности программы создания ЖРД финансированием; $V_{\text{ниокр}}^{\pi}$ – потребный объем финансирования НИОКР (принимается по программе), руб.; $V_{\text{сп}}^{\pi}$ – потребный объем финансирования при серийном производстве, руб.; $V_{\text{ниокр}}^p$, $V_{\text{сп}}^p$ – соответственно располагаемые объемы финансирования НИОКР и серийного производства (выделяемые объемы финансирования), которые могут складываться из долей финансовых средств, выделяемых Госкорпорацией «Роскосмос» и на коммерческой основе, руб.

- сравнение варианта программы создания ЖРД с ведущими мировыми тенденциями развития;

- сопоставление варианта программы создания ЖРД средств выведения КА с прогнозом развития науки и техники в интересах государства.

Следующим этапом разработанного подхода является процедура формирования потенциально-реализуемых вариантов программы создания ЖРД.

Формирование потенциально-реализуемых вариантов программы создания ЖРД средств выведения КА проводится в соответствии с алгоритмом, представленным на рисунке 4.

Формирование проходит в две ступени:

1. Исключение из дальнейшего анализа альтернативных вариантов программы создания ЖРД варианты, на которые влияют ключевые системные проблемы в РКП. Определение ключевых системных проблем при реализации альтернативных вариантов программы создания ЖРД проводится по алгоритму, представленному на рисунке 5.

2. Исключение из дальнейшего анализа альтернативных вариантов программы создания ЖРД варианты, которые не реализуемы или трудно реализуемы при существующем научно-техническом потенциале (уровне) РКП. Алгоритм анализа реализуемости альтернативных вариантов программы создания ЖРД в условиях ограниченных объемов испытаний и сроков выполнения по существующему научно-техническому уровню РКП представлен на рисунке 8.

Основными этапами алгоритма (рисунок 5) являются:

1. Ввод исходных данных:

- формирование группы экспертов $\vec{\Xi} = [\Xi_1, \Xi_2, \dots, \Xi_n]$, при этом $n \geq 7$;

- формирование множества системных проблем, оказывающих влияние возможность реализации альтернативных вариантов программы создания ЖРД в условиях ограниченных объемов испытаний и сроков выполнения программы $\Pi_{\{M\}}^{\text{пр.с.}} = \{\Pi_1^{\text{пр.с.}}, \Pi_2^{\text{пр.с.}}, \dots, \Pi_M^{\text{пр.с.}}\}$, при этом $\Pi_{\{M\}}^{\text{пр.с.}} \subset H^{\text{нир}}$.

2. Ознакомление экспертов с предлагаемым перечнем системных проблем $\Pi_{\{M\}}^{\text{пр.с.}}$ и правилами проведения экспертного опроса.

3. Дополнение перечня системных проблем $\Pi_{\{M\}}^{\text{пр.с.}}$ и повторное ознакомление группы экспертов с дополненным вариантом (при необходимости).

4. Заполнение матрицы экспертных оценок $R_{\|M \times n\|}$ по методу анализа иерархий (парное сравнение любых двух системных проблем по степени значимости):

$$R_{\|M \times n\|} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ P_{31} & P_{32} & \dots & P_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{M1} & P_{M2} & \dots & P_{Mn} \end{bmatrix}. \quad (4)$$

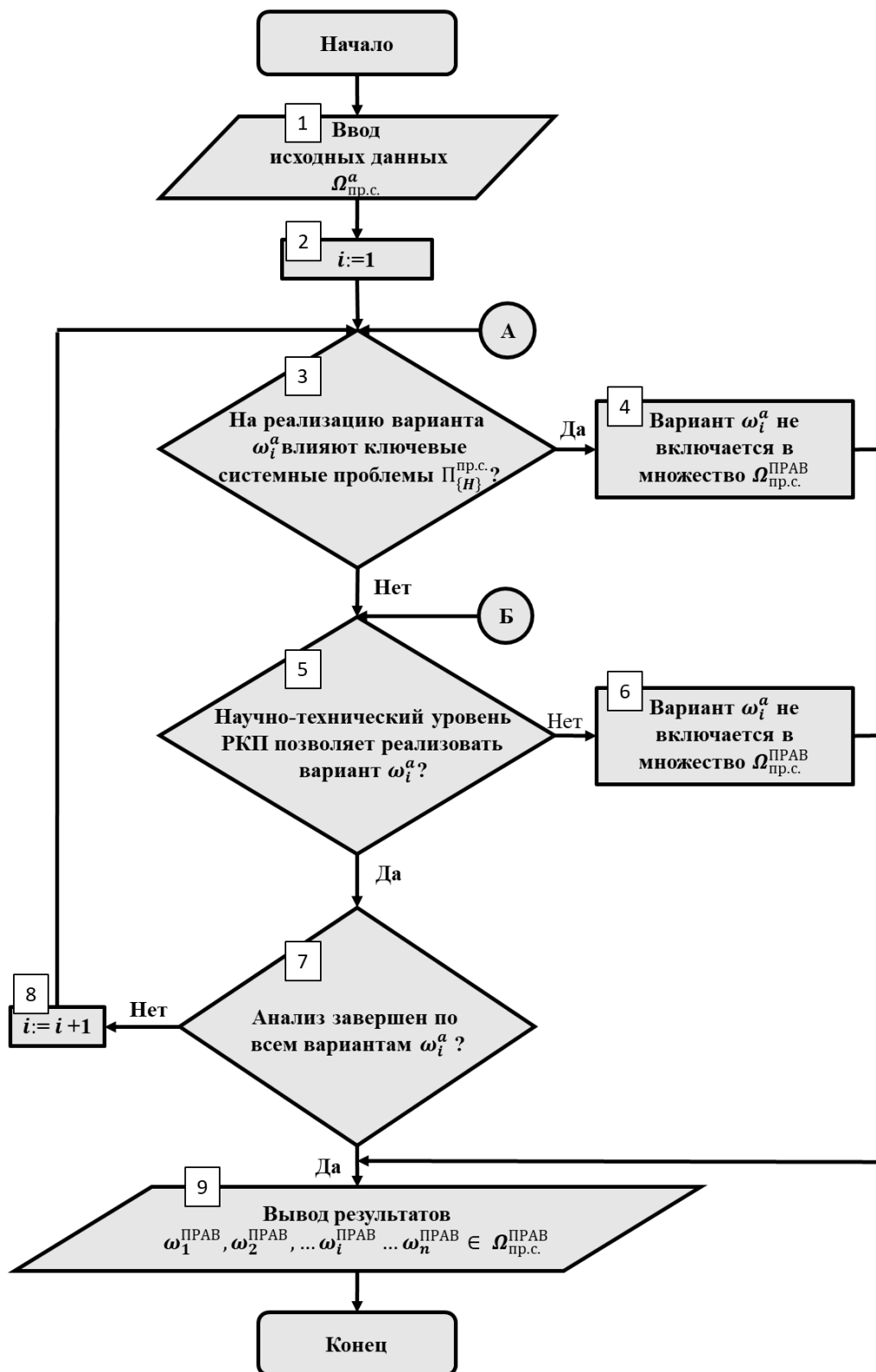


Рисунок 4 – Алгоритм формирования потенциально-реализуемых вариантов программы создания ЖРД

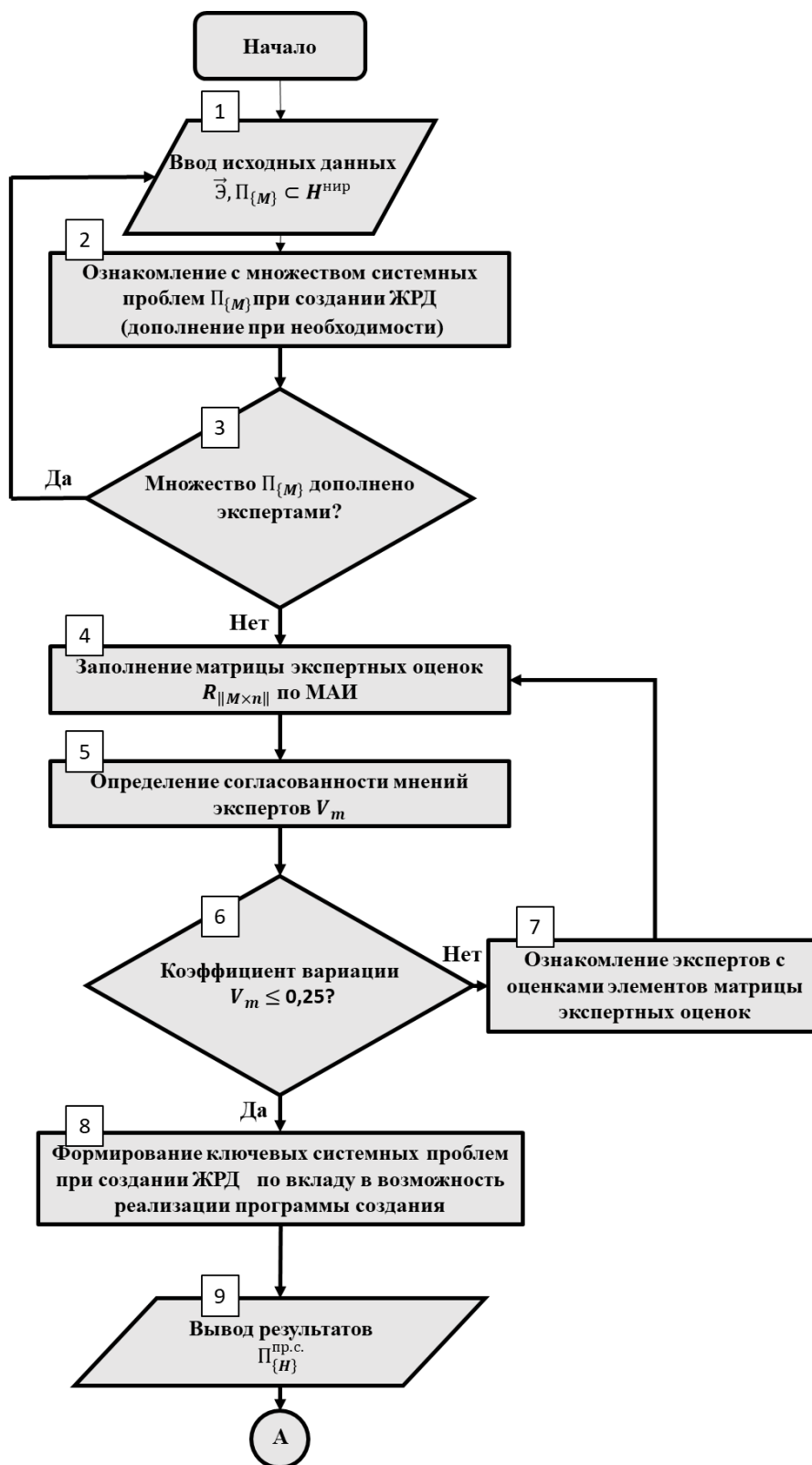


Рисунок 5 – Алгоритм определения ключевых системных проблем при реализации альтернативных вариантов программы создания ЖРД

Элементы матрицы (4) образуются по следующему правилу:

$$P_{mj} \begin{cases} 9 - \text{абсолютное превосходство;} \\ 1 - \text{одинаковая значимость системных проблем;} \\ 5 - \text{умеренное превосходство одной проблемы над другой;} \\ 2, 3, 4, 6, 7, 8 - \text{промежуточные решения по оценке значимости.} \end{cases} \quad (5)$$

5. Определение согласованности мнений экспертов – (6), (7), (8):

$$P_{m \text{ ср}} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n P_{mj}, \quad (6)$$

где: $P_{m \text{ ср}}$ – среднее значение величины m -й системной проблемы j -м экспертом.

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (P_{mj} - P_{m \text{ ср}})^2}{n-1}}, \quad (7)$$

где: σ_m – среднее квадратичное отклонение значения величины оценки m -й системной проблемы j -м экспертом.

$$V_m = \frac{\sigma_m}{P_{m \text{ ср}}}, \quad (8)$$

где: V_m – коэффициент вариации (степень согласованности мнений экспертов).

6. Сравнение рассчитанных значений коэффициентов вариации с требуемым, степень согласованности считается удовлетворительной при $V_m \leq 0,25$.

7. При превышении допустимой величины степени согласованности проводится ознакомление каждого эксперта со значениями балльной оценки важности системной проблемы, назначенных другими экспертами и предоставляется возможность пересмотра оценок при повторном туре экспертного опроса. В случае получения неудовлетворительных значений степени согласованности при повторном туре проводится процедура обоснования назначаемых оценок каждым экспертом, ознакомление экспертов с этими обоснованиями, а затем проводится третий тур экспертного опроса.

8. Формирование ключевых системных проблем по вкладу влияния на возможность реализации альтернативных вариантов программы создания ЖРД:

- расчет значений весовых коэффициентов значимости w_m m -й системной проблемы по формуле:

$$w_m = \frac{P_{m \text{ ср}}}{\sum_{m=1}^M P_{m \text{ ср}}}, \quad (9)$$

где: M – количество «взвешиваемых» системных проблем; при условии, что $0 < w_m < 1$ и $\sum_{m=1}^M w_m = 1$.

- формирование подмножества ключевых системных проблем при реализации альтернативных вариантов программы создания ЖРД:

а) Правило формирования подмножества ключевых системных проблем:

$$\Pi_{\xi}^{\text{пр.с.}} \notin \Pi_{\{H\}}^{\text{пр.с.}}, \text{ если } w_{\xi} < w^* \text{ или } \Pi_{\xi}^{\text{пр.с.}} \in \Pi_{\{H\}}^{\text{пр.с.}}, \text{ если } w_{\xi} \geq w^*, \quad (10)$$

где: $\Pi_{\xi}^{\text{пр.с.}}$ – произвольный элемент множества системных проблем; $\Pi_{\{M\}}^{\text{пр.с.}}$ – полное множество системных проблем при реализации альтернативных вариантов программы создания ЖРД; $\Pi_{\{H\}}^{\text{пр.с.}}$ – подмножество ключевых системных проблем $\Pi_h^{\text{пр.с.}}$ $h = \overline{1, H}$, $\Pi_{\{H\}}^{\text{пр.с.}} \subseteq \Pi_{\{M\}}^{\text{пр.с.}}$, $H \leq M$.

б) Обоснование порогового значения степени значимости системной проблемы. Если все системные проблемы $\Pi_m^{\text{пр.с.}}$ $m = \overline{1, M}$ одинаковы по важности, то их вес одинаков и равен:

$$w^* = \frac{\sum_{m=1}^M w_m}{M} = \frac{1}{M}, \quad (11)$$

в) Правило формирования подмножества ключевых системных проблем:

$$\Pi_{\xi}^{\text{пр.с.}} \notin \Pi_{\{H\}}^{\text{пр.с.}}, \text{ если } w_{\xi} < \frac{1}{M} \text{ или } \Pi_{\xi}^{\text{пр.с.}} \in \Pi_{\{H\}}^{\text{пр.с.}}, \text{ если } w_{\xi} \geq \frac{1}{M}, \quad (12)$$

$$\Pi_{\xi}^{\text{пр.с.}} \notin \Pi_{\{H\}}^{\text{пр.с.}}, \text{ если } \beta_{\xi} = w_{\xi} - \frac{1}{M} < 0 \text{ или } \Pi_{\xi}^{\text{пр.с.}} \in \Pi_{\{H\}}^{\text{пр.с.}}, \text{ если } \beta_{\xi} = w_{\xi} - \frac{1}{M} \geq 0. \quad (13)$$

где: β_{ξ} – приведенный коэффициент значимости m -й системной проблемы.

Графическое представление правила формирования подмножества ключевых системных проблем $\Pi_{\{H\}}^{\text{пр.с.}}$ (рисунок 6).

9. Вывод результатов:

- формирование перечня ранжированных по убыванию значимости ключевых системных проблем при реализации альтернативных вариантов программы создания ЖРД с нормированными и приведенными весовыми коэффициентами значимости (таблица 1);
- вывод диаграммы полученных значений весовых коэффициентов значимости системных проблем при реализации альтернативных вариантов программы создания ЖРД (рисунок 7).

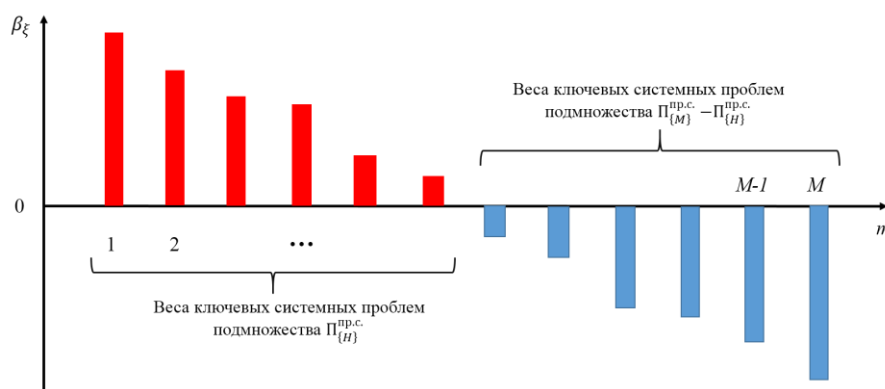


Рисунок 6 – Пример графика значений весов системных проблем при реализации альтернативных вариантов программы создания ЖРД

Таблица 1 – Пример перечня ранжированных по убыванию значимости ключевых системных проблем при реализации альтернативных вариантов программы создания ЖРД

№ п/п	Наименование ключевой системной проблемы	β_{ξ}
1.	Снижение конкурентоспособности отечественных средств выведения на международном рынке пусковых услуг	0,050
2.	Технико-экономические проблемы создания ЖРД	0,047
3.	Проблемы разработки и внедрения прорывных технологий и перспективных конструкционных материалов	0,038
4.	Проблемные вопросы обеспечения материалами и сырьем	0,037
5.	Проблема обеспечения ракетно-космической отрасли высококвалифицированными кадрами	0,034
6.	Длительный производственный цикл изготовления элементов ракетно-космической техники	0,026
7.	Проблемы создания стартовых и технических комплексов для перспективных средств выведения КА	0,025
8.	Материально-техническое старение производственной базы	0,015
9.	Проблемные вопросы обеспечения надежности ЖРД	0,006
10.	Экспортные ограничения и импортозависимость в материалах и сырье	0,003

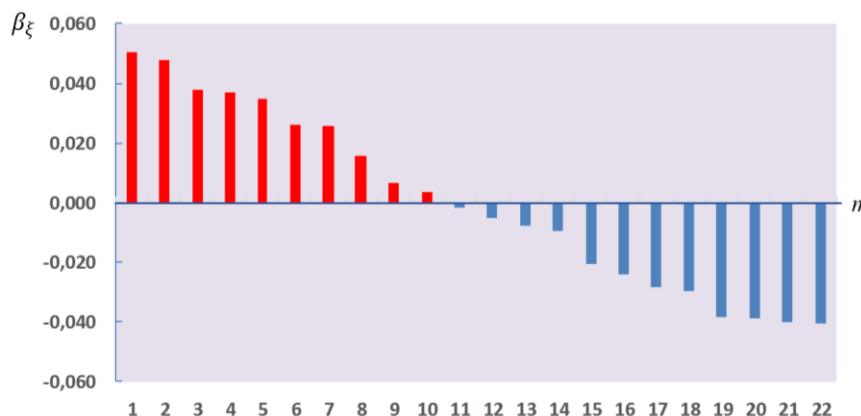


Рисунок 7 – Пример диаграммы полученных значений весовых коэффициентов значимости системных проблем при реализации альтернативных вариантов программы создания ЖРД

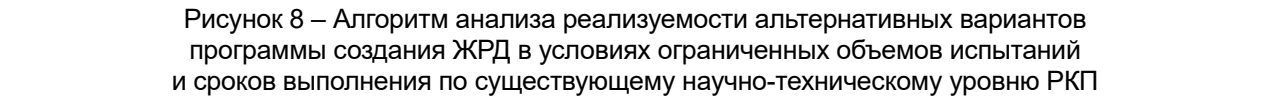
Основными этапами алгоритма (рисунок 8) являются:

- определение физической реализуемости альтернативных вариантов программы создания ЖРД в условиях ограниченных объемов испытаний и сроков выполнения программы. Физическая реализуемость обеспечивается соответствием замысла варианта программы современным научным представлениям. Оценка проводится по трем критериям: надежности, которая может быть достигнута при заданных условиях и ограничениях; соответствия закладываемых технических характеристик и параметров ЖРД современным научным и техническим достижениям; набору составных частей и элементов ЖРД, которые необходимо для его функционирования и выполнения требуемых задач.

- определение логической реализуемости альтернативных вариантов программы создания ЖРД в условиях ограниченных объемов испытаний и сроков выполнения программы (учет логических ограничений на возможный порядок выполнения работ во времени). Такими ограничениями, например, являются: требования нормативных и руководящих документов, которые определяют порядок создания изделий ракетно-космической техники; необходимость иерархического построения программ испытаний, предусматривающих проведение испытаний по этапам: вначале испытания элементов, затем испытания блоков и в итоге испытания системы в целом; увязка сроков разработки документации, капитального строительства и сдачи в эксплуатацию новых испытательных стендов (их доработка) со сроками разработки и испытаний ЖРД и их составных частей и т.д.

- определение научно-технической реализуемости альтернативных вариантов программы создания ЖРД в условиях ограниченных объемов испытаний и сроков выполнения программы (соответствие замысла варианта программы создаваемым научным возможностям в отрасли) [5]. Оценка проводится по двум критериям: соответствие замысла варианта программы существующему заделу научных исследований и разработок в отрасли (ЗНИиР); соответствие замысла варианта программы существующим технологическому заделу и техническим решениям (ТЗиТР).

Следующим этапом разработанного подхода к выбору рациональных вариантов программы создания ЖРД является экспертное оценивание потенциальной реализуемости. Оценивание производится с помощью модели и алгоритма оценивания множества потенциально-реализуемых вариантов программы создания ЖРД в условиях ограниченных объемов испытаний и сроков выполнения программы. Исходное множество $\Omega_{\text{пр.с}}^{\text{ПРАВ}}$ вариантов программы создания подвергается экспертному анализу, в результате которого каждый эксперт $\mathcal{E}_i$, $i = \overline{1, N}$ для каждой альтернативы $\omega_i^{\text{ПРАВ}}$, $i = \overline{1, n}$ выбирает оценку степени потенциальной реализуемости r_{ij} , которые в совокупности образуют матрицу $R_{\|N \times n\|}$ экспертных оценок потенциальной реализуемости элементов множества вариантов программы создания ЖРД, показанную на рисунке 9.



	$\omega_1^{ПРАБ}, \omega_2^{ПРАБ} \dots \omega_n^{ПРАБ}$	K_{Θ_i}
$R_{[N \times n]} =$	$r_{11} \quad r_{12} \quad \dots \quad r_{1n}$	Θ_1
	$r_{21} \quad r_{22} \quad \dots \quad r_{2n}$	Θ_2
	$\dots$	$\dots$
	$r_{N1} \quad r_{N2} \quad \dots \quad r_{Nn}$	Θ_N
r_j	$r_1 \quad r_2 \quad \dots \quad r_n$	
$P_{\omega_i^{ПРАБ}}$	$P_{\omega_1^{ПРАБ}} \quad P_{\omega_2^{ПРАБ}} \quad \dots \quad P_{\omega_n^{ПРАБ}}$	
$\Theta_{\omega_i^{ПРАБ}}$	$\Theta_{\omega_1^{ПРАБ}} \quad \Theta_{\omega_2^{ПРАБ}} \quad \dots \quad \Theta_{\omega_n^{ПРАБ}}$	

Рисунок 9 – Матрица экспертных оценок потенциальной реализуемости потенциально-реализуемых вариантов программы создания ЖРД в условиях ограниченных объемов испытаний и сроков выполнения программы

В отличие от традиционных методов экспертного оценивания [6; 7], основанных на бинарных двухзначных оценках степени реализуемости альтернатив, в модели предложено ввести трехзначную оценку степени реализуемости, добавив помимо «1» и «0», значение «0,5», которое предлагается использовать, когда эксперт не может принять однозначное решение о реализуемости или нереализуемости рассматриваемого варианта программы создания ЖРД:

$$r_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{когда } i\text{-й эксперт считает, что вариант } \omega_i^{ПРАБ} \text{ потенциально реализуем;} \\ 0,5 & \text{когда } i\text{-й эксперт затрудняется принять решение по варианту } \omega_i^{ПРАБ}; \\ 0 & \text{когда } i\text{-й эксперт считает, что вариант } \omega_i^{ПРАБ} \text{ потенциально нереализуем.} \end{cases} \quad (14)$$

Это позволяет ввести помимо обобщенного коэффициента потенциальной реализуемости варианта:

$$P_{\omega_i^{ПРАБ}} = \frac{\sum_{j=1}^N r_{ij}}{N}, \quad (15)$$

обобщенный коэффициент неопределенности экспертных оценок варианта:

$$\Theta_{\omega_i^{ПРАБ}} = 1 - \frac{\sum_{j=1}^N |r_{ij} - 0,5|}{N \cdot 0,5}, \quad (16)$$

а также определить коэффициент апостериорной компетентности эксперта:

$$K_{\Theta_i} = \frac{\sum_{j=1}^n |r_{ij} - 0,5|}{n \cdot 0,5}. \quad (17)$$

Для того чтобы упростить процедуру выбора рациональных вариантов программы создания ЖРД по степени реализуемости предлагается снизить количество потенциально реализуемых вариантов программы за счет дополнительного векторного критерия [8; 9]. В качестве векторного критерия потенциальной реализуемости варианта программы создания ЖРД предложено использовать четыре условия, то есть, вариант остается принадлежать множеству потенциально реализуемых вариантов, если:

$P_{\omega_i^{ПРАБ}} \geq P_0$ – вариант характеризуется существенным уровнем потенциальной реализуемости;

$\Theta_{\omega_i^{ПРАБ}} \leq \Theta_0$ – степень неопределенности оценки реализуемости варианта допустима;

$K_{\Theta_i} \geq K_0, \forall i = \overline{1, N}$ – коллектив экспертов однороден по степени компетентности;

$W \geq W_0$ – мнения экспертов согласованы, W – коэффициент конкордации экспертных оценок, определяемый на основе выражения:

$$W = \frac{12 \sum_{i=1}^n [r_i - \frac{1}{2}N(n+1)]^2}{N^2(n^3-n) - N \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{k_i} (t_{ij}^3 - t_{ij})}, \quad (18)$$

где: $r_j = \sum_{i=1}^N r_{ij}$; k_j – число групп равных рангов, введенных i -м экспертом; t_{ij} – количество дробных рангов в j -й группе, введенной i -м экспертом.

Алгоритм оценивания множества потенциально-реализуемых вариантов программы создания ЖРД в условиях ограниченных объемов испытаний и сроков выполнения программы представлен на рисунке 10.

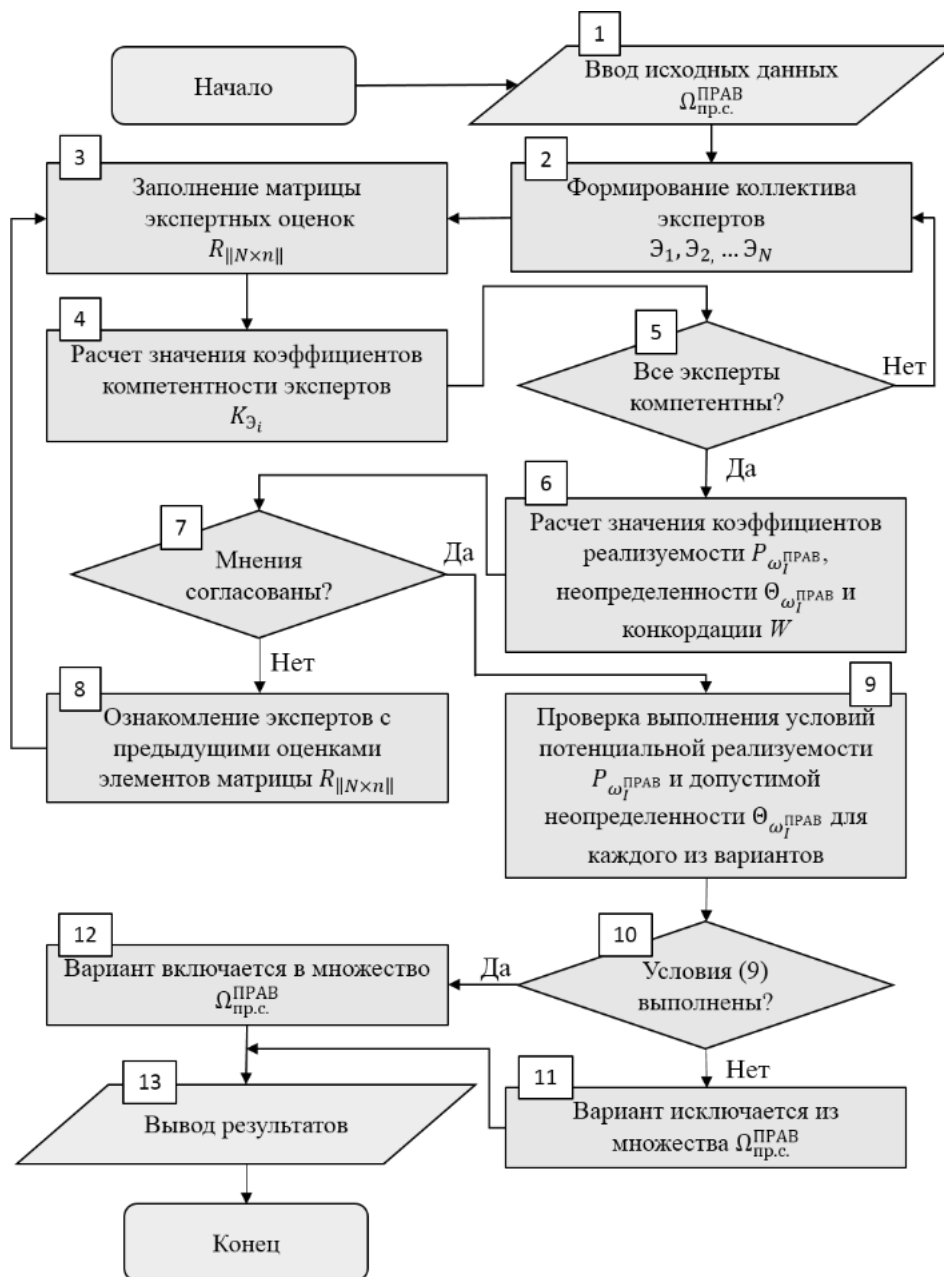


Рисунок 10 – Алгоритм оценивания множества потенциально-реализуемых вариантов программы создания ЖРД в условиях ограниченных объемов испытаний и сроков выполнения программы

Заключение

Применение разработанного научного подхода позволит, во первых, расширить информационную базу для анализа решений за счет учета максимально полного множества вариантов программы создания ЖРД; во-вторых, объем анализируемой информации по вариантам существенно уменьшен за счет поэтапного сужения полного множества вариантов к подмножеству потенциально-реализуемых вариантов и их последующей оценки по коэффициентам реализуемости и неопределенности; в третьих, предложенный инструментарий анализа возможности реализации вариантов программы создания ЖРД в условиях ограниченных объемов испытаний и сроков выполнения позволяет выбирать такие рациональные варианты, при которых цель работ будет достигнута с наибольшей вероятностью.

Применение разработанного методического аппарата целесообразно на этапе проектного технико-экономического обоснования вариантов программы создания ЖРД и оценки реализуемости этих вариантов.

Список источников

1. Аверкиев Н.Ф., Ключников В.Ю., Кульвиц А.В., Житников Т.А. Формирование баллистической структуры спутниковой системы малых космических аппаратов дистанционного зондирования Земли с использованием электроракетных двигателей // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2025. №2(68). С. 84-91.
2. Перфильев А.С., Пирогов С.Ю., Семенов Е.Н. Анализ эксплуатационной надежности разгонных блоков средств выведения космических аппаратов и пути ее повышения // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. 2018. №665. С. 223-230.
3. 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.
4. Галеев А.Г., Иванов В.Н., Катенин А.В., Лисейкин В.А., Пикалов В.П., Поляхов А.Д., Сайдов Г.Г., Шибанов А.А. Методология экспериментальной отработки ЖРД и ДУ, основы проведения испытаний и устройства испытательных стендов: монография. Киров: МЦНИП, 2015. 436 с.
5. Оценка научно-технической и производственно-технологической реализуемости проектов на стадиях жизненного цикла сложных технических систем: монография / Под ред. С.Н. Остапенко. Тверь: ОПВЭиФ, 2015. 276 с.
6. Вылегжанин Г.Н., Завьялов И.С., Рымкевич С.Н., Федорова Е.А. Метод оценки реализуемости вариантов развития вооружения, военной и специальной техники ВКО // Вооружение и экономика. 2017. №5(42). С. 23-34.
7. 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.
8. Методология программно-целевого планирования развития системы вооружения на современном этапе: в 2 ч. / Под общ. ред. В.М. Буренка. М.: Граница, 2013. 519 с.
9. Методы военно-научных исследований систем вооружения: военно-научный труд / Под общ. ред. В.М. Буренка. М.: Граница, 2017. 512 с.

Информация об авторах

- А.В. Белянкин – кандидат технических наук, доцент, SPIN 6096-0991, <https://orcid.org/0009-0000-0658-3655>.
- Е.Н. Семенов – кандидат технических наук, SPIN 4933-7402, <https://orcid.org/0009-0006-9056-6156>.
- С.Ю. Герасименко – кандидат технических наук, SPIN 4855-6009, <https://orcid.org/0009-0005-1387-5986>.
- С.Ю. Пирогов – доктор технических наук, профессор, SPIN 2599-2679, <https://orcid.org/0009-0006-9054-6177>.

Научная статья
УДК 004.8:623.76

Роль и место мультимодальных больших языковых моделей в задачах создания систем противодронной обороны

Вячеслав Константинович Абросимов, Артем Хоренович Келоглян

Аннотация. Постановка задачи: активные угрозы, создаваемые беспилотными летательными аппаратами для объектов критической инфраструктуры, требуют построения системы противодронной обороны. Цель: определить перспективы применения мультимодальных больших языковых моделей в задачах противодронной обороны. Метод решения: рассматривается применение мультимодальных больших языковых моделей в качестве семантического слоя системы противодронной обороны. Результат: предложена обобщенная структура информационно-аналитического контура противодронной обороны с использованием мультимодальных больших языковых моделей и генераций с дополненной выборкой; определено место мультимодальных больших языковых моделей как вспомогательного семантического слоя, сформулированы типовой сценарий применения и основные ограничения. Практическая значимость: снижение когнитивной нагрузки на операторов, ускорение первичной интерпретации воздушной обстановки, повышение качества анализа.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат; мультимодальная большая языковая модель; генерация с дополненной выборкой; противодронная оборона

Для цитирования: Абросимов В.К., Келоглян А.Х. Роль и место мультимодальных больших языковых моделей в задачах создания систем противодронной обороны // Вооружение и экономика. 2026. №3(77). С. 37-45.

Original article

The role of multimodal large language models in the development of counter-unmanned aircraft systems defense systems

Viacheslav K. Abrosimov, Artem K. Keloglian

Abstract. Problem Statement: active threats posed by unmanned aerial vehicles to critical infrastructure facilities require the development of counter-drone defense systems. Purpose: to determine the prospects for applying multimodal large language models to counter-drone defense tasks. Method: the application of multimodal large language models as a semantic layer of a counter-drone defense system is considered. Results: a generalized structure of an information-analytical contour of counter-unmanned aircraft systems defense using multimodal large language models and retrieval-augmented generation is proposed; the role of multimodal large language models as an auxiliary semantic layer is defined; a typical application scenario and the main limitations are formulated. Practical Significance: the proposed approach can reduce the cognitive load on operators, accelerate the initial interpretation of the airspace situation, and improve the quality of analysis.

Keywords: unmanned aerial vehicle; multimodal large language model; retrieval-augmented generation; counter-drone defense

For citation: Abrosimov V.K., Keloglian A.K. The role of multimodal large language models in the development of counter-unmanned aircraft systems defense systems. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2026; 77(3): 37-45. (In Russ.).

Введение

Опыт современных боевых действий показал активное использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для атак на объекты критической инфраструктуры. Поэтому в настоящее время вопросам построения систем обороны объектов критической инфраструктуры как военного, так и гражданского назначения уделяется значительное внимание. Однако возможности размещаемых в окрестности таких объектов для их защиты систем противовоздушной обороны (ПВО) от БПЛА объективно ограничены. ПВО создавались совершенно для других целей. Как показано в работе¹, для ЗРК ПВО к настоящему времени

¹ Ростопчин В.В. Ударные беспилотные летательные аппараты и противовоздушная оборона – проблемы и перспективы противостояния // Беспилотная авиация. 2019. URL: https://www.researchgate.net/publication/331772628_Udamnye_bespiilotnye летательные аппараты_i_protivovozdusnaa_oborona_problemy_i_perspektivy_protivostoania

воздушными целями являются разведывательные, разведывательно-ударные БПЛА, БПЛА-постановщики помех, БПЛА-ретрансляторы связи, а также БПЛА другого функционального назначения со скоростями полета 120-800 км/ч в диапазоне высот от 50 до 7000 м. Вместе с тем малогабаритные БПЛА, как правило, характеризуются малой эффективной площадью рассеяния, что снижает дальность и устойчивость их обнаружения радиолокационными средствами. Дополнительную сложность создают полет на малых высотах, малая скорость отдельных типов БПЛА и способность некоторых аппаратов выбирать маршруты следования, затрудняющие своевременное обнаружение.

Борьба с БПЛА и группами БПЛА включает взаимосвязанные процессы обнаружения, сопровождения, распознавания, идентификации, принятия решения, перехвата управления (при необходимости и возможности), прицеливания и воздействия. Средства обороны от БПЛА уже сейчас выделяются в отдельные системы вооружения, которые получили пока еще неофициальное название «Система противодронной обороны» (ПДО). Очевидно, что концептуально система противодронной обороны должна встраиваться в существующие системы ПВО, прежде всего объектовые, с комплексированием по информации и управлению с другими средствами обнаружения, сопровождения и воздействия. Системы ПДО, как представляется, будут разрабатываться по известным военным «лекалам» и иметь вполне предсказуемую архитектуру: некоторая система предупреждения, как правило, совмещенная с системой обнаружения, и средства воздействия, потенциально основанные на различных физических принципах.

Основные положения теории противодронной обороны как новой научной проблемы борьбы с появившимся новым типом в определенном смысле даже стратегического перспективного вооружения еще только формулируются. Решение задач противодействия существенным образом зависит от стратегий действий БПЛА противника как одиночных, так и особенно групповых. И в практике задача противодействия БПЛА не ограничивается обнаружением воздушной цели. БПЛА может выполнять разрешенный полет, находиться на достаточном удалении от охраняемого объекта или, наоборот, демонстрировать подозрительные признаки: не передавать идентификационную информацию, двигаться в составе группы, целенаправленно приближаться к охраняемому объекту. В связи с этим в задачах ПДО важно не только обнаружить объект, но также правильно интерпретировать ситуацию.

Несмотря на высокую степень автоматизации процессов принятия решений, новизна постановки задачи создания систем ПДО и отсутствие в настоящее время общего системного подхода к их построению приводит к тому, что значительная часть задач по-прежнему возлагается на оператора. При этом эффективность работы человека-оператора ограничивается утомляемостью, высокой когнитивной нагрузкой, неполнотой восприятия обстановки, временем реакции и риском субъективной оценки ситуации. В этом отношении представляет существенный интерес разработка средств поддержки принятия решений оператором по всему спектру проблемных вопросов, связанных с функционированием систем ПДО, с использованием современных технологий искусственного интеллекта. В число наиболее успешно развиваемых технологий для систем поддержки принятия решений в последнее время относятся мультимодальные большие языковые модели [1].

Такие модели обладают существенными возможностями по интеграции и смысловой интерпретации разнородных данных, формированию объяснимых ответов и подготовке кратких аналитических отчетов для оператора.

К сожалению, в русскоязычной литературе информации на данную тему крайне мало. К числу немногочисленных, но интересных публикаций следует отнести работу [2], в которой специализированные квантованные большие языковые модели интегрируются в системы управления БПЛА с использованием так называемого квантования моделей для снижения требований к вычислительным ресурсам. Наиболее близкой к тематике настоящей статьи является работа [3], в которой рассмотрена проблема создания экспертных систем на основе больших языковых моделей с применением технологии генерации с дополненной выборкой и предложена архитектура системы, где функции традиционной экспертной

системы реализуются программными агентами с использованием специализированного управляющего запроса.

Таким образом, развитие систем противодронной обороны требует не только совершенствования средств обнаружения, сопровождения и воздействия, но и формирования информационно-аналитического слоя, обеспечивающего смысловую интерпретацию разнородных данных и поддержку оператора. В связи с этим актуальной является задача определения роли и места мультимодальных больших языковых моделей в составе системы ПДО.

1 Противодронная оборона как информационно-аналитический процесс

ПДО объектов инфраструктуры представляет собой не только совокупность технических и специальных средств обнаружения и противодействия БПЛА, но сложный информационно-аналитический процесс. Он включает в себя задачи по своевременному выявлению потенциально опасного воздушного объекта, определения его технических характеристик, оценку характера поведения и формирования обоснованного решения о дальнейших действиях. В современных научных работах по тематике ПДО данный процесс чаще всего рассматривается как последовательность взаимосвязанных этапов: обнаружение, локализация, сопровождение, классификация, идентификация, принятие решения и последующий анализ произошедшего события².

В общем виде процесс ПДО можно представить как совокупность взаимосвязанных этапов: обнаружение объекта, определение координат, трекинг, классификация, идентификация, определение уровня угрозы, принятие решения о применении средств противодействия и послесобытийный анализ. В отчете Объединенного исследовательского центра Европейской комиссии (Joint Research Centre) для описания подобных задач используется термин DTI (detection, tracking and identification), включающий обнаружение, локализацию, сопровождение, классификацию и идентификацию БПЛА³. Такой подход демонстрирует, что процесс ПДО является не одной операцией, а многоэтапным процессом.

На этапе обнаружения объекта фиксируется сам факт появления воздушного объекта в охраняемой области. Для этой цели применяется различное оборудование: радиолокационные средства, оптико-электронные и тепловизионные камеры, акустические датчики, средства радиочастотного мониторинга и иные источники первичной информации. При этом каждый источник имеет свои преимущества и недостатки. Радиолокационные средства позволяют фиксировать объект на значительном расстоянии, но имеют проблемы с низколетящими и малогабаритными объектами. Оптико-электронные средства предоставляют наглядную информацию о внешнем облике объекта, но малоэффективны в неблагоприятных метеорологических условиях, при низком уровне освещенности и на значительном расстоянии. Радиочастотный мониторинг позволяет дать сведения о канале управления, но становится неэффективным при автономном полете или управлении по оптоволоконному кабелю.

После обнаружения объекта возникает задача сопровождения. На этом этапе система должна обеспечивать устойчивое сопровождение объекта, рассчитывать координаты, высоту, скорость, курс движения и возможную траекторию. Сопровождение имеет принципиальное значение, поскольку именно динамика движения позволяет перейти от простого факта обнаружения к анализу поведения. Трек полета позволяет судить о характере поведения БПЛА: целенаправленное движение на объект, его облет или же зависание с целью разведки.

Следующий этап – классификация и идентификация объекта. Классификация позволяет отнести объект к определенному типу: птица, БПЛА самолетного типа, БПЛА мультироторного типа, группа БПЛА, зонд и т.д. Идентификация помогает понять: является ли

² Poppinga G., Anderson D., Amendola D. Technical developments in counter-drone technology: C-UAS detection, tracking and identification technology: annual report. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2025. 59 p. doi:10.2760/1517220. URL: https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC140692/JRC140692_01.pdf

³ Там же.

объект дружественным, неизвестным, опасным или безопасным. Для этого могут использоваться сведения о разрешенных полетах, данные Remote ID⁴, радиочастотные признаки, визуальные данные, особенности активности и т.д. Корректная идентификация воздушных объектов в вопросах защиты объектов инфраструктуры крайне важна, так как недостаток в информации и отсутствие координаты в источниках данных может привести к ошибочной классификации воздушного объекта и, как следствие, к неверному принятию решения⁵.

Оценка уровня угрозы не может определяться только одним признаком. Например, отсутствие данных Remote ID не всегда является признаком наличия угрозы, а полет вблизи охраняемого объекта может быть запланированным и разрешенным. Более надежная оценка должна формироваться совокупностью данных от различных источников. Поэтому в современных противодронных системах имеет большое значение не столько данные от отдельных источников, сколько их объединение, позволяющее сформировать более цельную оценку обстановки⁶.

С точки зрения информационно-аналитической поддержки в системе ПДО выделяется несколько уровней обработки данных. На первом принимаются данные от первичных датчиков. На втором происходит предварительная обработка данных: обнаружение объекта, определение характеристик объекта, построение трека движения и первичная классификация. На третьем происходит объединение данных от различных источников и формирование описания ситуации. На четвертом необходимо провести смысловую интерпретацию произошедшего события, сопоставление с имеющимися базами знаний и прецедентами.

2 Возможности MLLM в задачах противодронной обороны

Мультимодальные большие языковые модели целесообразно использовать как один из инструментов информационно-аналитической поддержки ПДО. Их основное отличие от стандартных языковых моделей состоит в возможности совместной обработки разнородных типов данных: текст, изображение, видеопоток, таблицы и т.д. За счет этого имеется возможность использования MLLM не только для генерации текстовых ответов, но также для смысловой интерпретации сложившейся ситуации, представленной различными источниками [5].

В целом система ПДО использует информацию о воздушной обстановке из различных источников: данные технических средств наблюдения, сведения об идентификации объекта, результаты радиочастотного мониторинга, метеорологическую обстановку, картографическую информацию, а также данные о разрешенных полетах. Для алгоритмов такие данные чаще всего представляются в формализованном машиночитаемом формате. Однако оператор не способен в кратчайший срок интерпретировать большой объем разнотипной информации, а MLLM способна обобщить различные данные и предоставить объяснение.

Одним из наиболее обоснованных направлений применения MLLM в задачах ПДО является формирование смыслового описания воздушной обстановки. Модель, получая данные от различных источников первичной информации, преобразует их в текстовое описание, понятное человеку-оператору. Например, вместо таблицы с признаками система может сформировать доклад: «обнаружен неопознанный летательный аппарат самолетного типа, направляющийся в направлении охраняемого объекта, на высоте 50 м, сведения в журнале разрешенных полетов о данном объекте отсутствуют». Такой формат представления данных понятен человеку, он снижает нагрузку и ускоряет первичное уяснение ситуации.

⁴ Remote Identification (RID) для БПЛА – это технология, разработанная для улучшения отслеживания и идентификации БПЛА во время полета. Эта технология в основном обеспечивает возможность идентификации и управления БПЛА другими пользователями воздушного пространства, наземным персоналом или соответствующими органами путем трансляции определенной идентификационной информации.

⁵ Shoufan A., Alkadi R. Integrating Counter-UAS Systems into the UTM System for Reliable Decision Making // arXiv. 2021. 14 Nov. URL: <https://arxiv.org/abs/2111.07291>

⁶ См.: Semeniyuk V., Kurmashev I., Lupidi A., Alyoshin D., Kurmasheva L., Cantelli-Forti A. Advance and Refinement: The Evolution of UAV Detection and Classification Technologies // arXiv. 2024. 09 Sep. 19 p. doi:10.48550/arXiv.2409.05985. URL: <https://arxiv.org/abs/2409.05985>; см. также [4].

Вторая возможность заключается в совместном использовании MLLM с механизмом RAG (Retrieval-Augmented Generation). При такой конфигурации модель имеет доступ к внешним источникам данных: журналам разрешенных полетов, базе имеющихся типов БПЛА, радиочастотным таблицам, базе знаний прецедентов, картам охраняемых зон и т.д. Такой подход не ограничивается знаниями во внутренних параметрах модели, а использует для генерации ответа актуальные документы и данные [6].

Третья возможность связана с анализом и интерпретацией поведения объекта. В задачах ПДО необходимо не только определить тип БПЛА и его характеристики, но также особенности его действий (высота полета, характер движения и т.д.). MLLM способна сопоставлять эти признаки с имеющейся базой знаний типовых возможностей применения и формировать предположение о характере поведения объекта.

Четвертая возможность позволяет автоматизировать послесобытийный анализ произошедшей ситуации. MLLM целесообразно использовать для документирования хронологии событий, фиксировать конкретные события и подготавливать отчет.

Наряду с этим возможности MLLM не стоит переоценивать. В существующих реалиях подобные модели не рассматриваются как самостоятельное средство обнаружения, классификации или принятия решения. Исследования, посвященные применению MLLM в задачах Low-Altitude UAV Scenarios (применения БПЛА на низких высотах), показывают, что такие модели пока испытывают затруднения со сложными визуальными условиями и устойчивой интерпретацией разнотипных данных⁷. Также в документе Национального института стандартов и технологий США⁸ подчеркивается, что генеративные модели склонны формировать ошибочные, но уверенно сформулированные ответы, а также имеется риск чрезмерного доверия пользователей к выдаваемым данным.

Поэтому наиболее обоснованным является применение MLLM в качестве вспомогательного аналитического компонента. Модель стоит использовать поверх специализированных алгоритмов обнаружения, сопровождения, классификации и объединения данных. Выводы должны быть подкреплены указанием исходных признаков. При недостаточности данных для формирования исчерпывающего вывода необходимо ограничить формирование неподтвержденных ответов, а зафиксировать неопределенность и указать какие сведения необходимо получить дополнительно.

Таблица 1 – Применение MLLM в системе ПДО

Направление применения	Роль MLLM	Ограничение
Обнаружение	Описание результата обнаружения и сопоставление данных от различных источников	Не заменяет специализированные средства
Классификация	Объяснение признаков, влияющих на классификацию	Требуется проверки по независимым источникам
Идентификация	Сопоставление объекта с журналами разрешенных полетов, Remote ID	Не должна принимать окончательное решение
Сопровождение	Анализ характера движения и поведения объекта	Не заменяет трекер и фильтры сопровождения
Оценка угрозы	Формирование объяснимой гипотезы о характере ситуации	Необходимо задавать пределы достоверности и контроль оператора
Работа с базами знаний	Использование RAG для обращения к документам, базам знаний и прецедентам	Требуется контроль актуальности источников
Послесобытийный анализ	Формирование хронологии, отчета и выявление противоречий	Требуется экспертная проверка итогового документа

⁷ Dai S., Ma Z., Luo Z., Yang X., Huang Y., Zhang W., Chen C., Gu Z.o, Xu W., Sun Y., Sun M. MM-UAVBench: How Well Do Multimodal Large Language Models See, Think, and Plan in Low-Altitude UAV Scenarios? // arXiv. 2025. 29 Dec. 25 p. doi:10.48550/arXiv.2512.23219. URL: <https://arxiv.org/abs/2512.23219>

⁸ Autio C., Schwartz R., Dunietz J., Jain S., Stanley M., Tabassi E., Hall P., Roberts K. Artificial Intelligence Risk Management Framework: Generative Artificial Intelligence Profile // National Institute of Standards and Technology (NIST AI 600-1). 2024. 26 Jul. doi:10.6028/NIST.AI.600-1. URL: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/ai/NIST.AI.600-1.pdf>

Для оценки возможностей применения MLLM в системе ПДО целесообразно использовать классификацию, представленную в таблице 1.

В связи с этим предлагается рассматривать MLLM как вспомогательный инструмент информационно-аналитической поддержки, но не как самостоятельное средство ПДО. Практическая ценность проявляется там, где требуется связать между собой разнотипные данные, пояснить текущую воздушную обстановку, сопоставить признаки объектов с базой знаний и подготовить понятный для человека вывод. При этом задачи обнаружения, сопровождения, подавления или перехвата БПЛА должны решаться специализированными техническими средствами и алгоритмами ПДО. MLLM в такой системе не заменяет исполнительный контур, а дополняет его, повышая обоснованность принимаемых решений.

3 Архитектура информационно-аналитического контура ПДО с использованием MLLM и RAG

Архитектура информационно-аналитического контура ПДО с использованием MLLM должна строиться не как замена существующих технических и программных средств обнаружения, сопровождения и реагирования, а как надстройка над ними. В такой структуре мультимодальная большая языковая модель находится на уровне семантического слоя, который получает подготовленные исходные данные, сопоставляет их с внешними источниками знаний и формирует структурированный доклад по результатам генерации для человека или системы поддержки принятия решения. Под семантическим слоем в данной работе понимается программный компонент, обеспечивающий смысловую интерпретацию подготовленных данных, их сопоставление с внешними источниками знаний и формирование объяснимого аналитического вывода.

Особенностью предлагаемой архитектуры является разделение функций. MLLM не должна вмешиваться в процессы, которые и без того качественно выполняются специализированными алгоритмами: обработка сигналов, первичная классификация, построение треков объединение данных и т.д. Система должна функционировать на более высоком уровне, где требуется взаимоувязать имеющиеся данные с контекстом обстановки, журналом разрешенных полетов, имеющейся базой знаний прецедентов. В предполагаемом контуре модель на вход получает не «сырые» данные, а структурированный массив данных. Такой массив может включать: идентификатор, сведения о наличии или отсутствии Remote ID, расстояние до охраняемого объекта, сведения о наличии подтверждения от журнала с разрешенными полетами, данные от различных датчиков.

База знаний в данной структуре является отдельным элементом и используется через механизм RAG. Она обеспечивает взаимосвязь MLLM с актуальными внешними источниками: журналами разрешенных полетов, картами, классификаторами типов БПЛА, базами знаний прецедентов и инструкциями оператора. Благодаря такому подходу модель формирует вывод не только на основе внутренних знаний, полученных при обучении, но также учитывает документы и данные, относящиеся к конкретному объекту инфраструктуры. Применение механизма RAG повышает проверяемость выводов, так как использование MLLM без внешней базы знаний может повлечь формирование правдоподобных, но недостаточно обоснованных объяснений. Все вышеперечисленное делает вывод более прозрачным для оператора и облегчает последующую проверку.

Обобщенная структура информационно-аналитического контура ПДО с использованием MLLM и RAG представлена на рисунке 1.

Выводом MLLM в данной архитектуре является не команда на применение средств противодействия, а аналитическое заключение. Оно должно включать краткое описание события, перечень признаков, подтверждающих предположение об угрозе, указание на недостающие данные и общий уровень неопределенности. Такой формат позволяет использовать модель как инструмент объяснения и поддержки оператора, а не как автономный контур принятия критических решений.

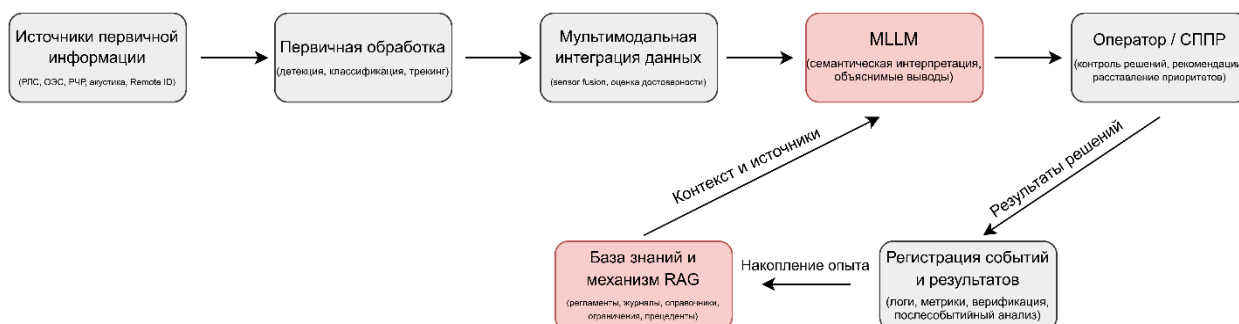


Рисунок 1 – Обобщенная структура информационно-аналитического контура противодронной обороны с использованием MLLM и RAG

4 Пример сценария информационно-аналитической поддержки

С целью уточнения роли и места MLLM в контуре ПДО предлагается рассмотреть типовой сценарий информационно-аналитической поддержки оператора при обнаружении неизвестного воздушного объекта вблизи объекта инфраструктуры. Данный пример не предусматривает автоматического принятия решения на противодействие, его цель состоит в том, чтобы показать порядок формирования поддержки на основе разнотипных данных.

Пусть система ПДО обнаружила появление неопознанного воздушного объекта вблизи охраняемой зоны объекта инфраструктуры. Первичное обнаружение выполнено с помощью радиолокационной станции. Далее поступило подтверждение от оптико-электронного средства. Система сопровождения формирует устойчивый трек. По этим данным неопознанный объект движется в направлении охраняемого объекта, высота колеблется в диапазоне 75-100 м, скорость 120 км/ч. При этом отсутствуют сведения Remote ID, а в журнале разрешенных полетов нет информации об объекте с подобными данными.

На первом этапе специализированные алгоритмы выполняют техническую обработку данных: обнаружение объекта, построение трека, расчет координат, скорости, высоты, курс движения и другие возможные параметры. Данные операции не должны выполняться MLLM, поскольку требуют высокого быстродействия и устойчивости. Результатом обработки является формализованное описание объекта, пригодное для дальнейшей интерпретации.

Пример такого описания представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Формализованное описание объекта, сформированное на первом этапе

Параметр	Значение
Идентификатор объекта	BJC9829454
Источник первичного обнаружения	РЛС
Подтверждение оптико-электронным каналом	есть
Размер объекта	Малый
Высота	75-100 м
Скорость	120 км/ч
Направление движения	в сторону объекта инфраструктуры
Remote ID	отсутствует
Запись в журнале разрешенных полетов	отсутствует
Радиочастотная сигнатура	не подтверждена
Уровень достоверности трека	средний

На втором этапе формализованные данные передаются в аналитический модуль MLLM. Одновременно через механизм RAG выполняется обращение к внешним источникам: журналу разрешенных полетов, карте охраняемых зон, регламенту выполнения действий, базе знаний прецедентов, базе имеющихся типов БПЛА, радиочастотным таблицам. Это позволяет модели анализировать не только текущие признаки объекта, но и контекст ситуации. Например, отсутствие записи в журнале разрешенных полетов становится более значимым, если объект находится в зоне с ограничением воздушного пространства.

На третьем этапе MLLM формирует аналитическое описание ситуации. Ключевым моментом является то, что модель не просто формирует итоговую оценку, а объясняет, на каких признаках она основана. Возможный вариант вывода может быть представлен следующим образом: «Объект BJC9829454 имеет признаки потенциально опасного БПЛА. Предположение повышенного уровня внимания подтверждают следующие признаки: движение в сторону охраняемой зоны, отсутствие Remote ID, отсутствие записи в журнале разрешенных полетов, а также подтверждение объекта двумя независимыми каналами наблюдения. Неопределенность сохраняется из-за отсутствия подтвержденной радиочастотной сигнатуры и недостатка данных о типе объекта. Для повышения достоверности оценки требуется продолжить сопровождение, уточнить визуальные признаки и проверить наличие дополнительных сведений во внешних источниках».

Такой вывод отличается от простого сигнала тревоги. Он содержит не только оценку ситуации, но и объяснение причин, перечень подтверждающих признаков, указание на неполные данные и рекомендации по дополнительной проверке. Это позволяет оператору в кратчайшие сроки понять характер обстановки и снизить временные затраты на самостоятельное сопоставление большого количества разрозненных параметров.

На четвертом этапе результат передается оператору или системе поддержки принятия решений. При этом MLLM не имеет доступа к самостоятельному принятию решения на воздействие. Ее вывод используется как один из элементов информационно-аналитической поддержки наряду с результатами специализированных алгоритмов, данными датчиков, регламентами и решением ответственного лица. Такой подход снижает риск чрезмерного доверия к генеративной модели и сохраняет контролируемость процесса принятия решений.

На заключительном этапе все данные по данному событию автоматически фиксируются и заносятся в журнал: параметры трека, подтверждения от датчиков, извлеченные через RAG документы, вывод MLLM, действия оператора и конечный результат. В дальнейшем эти сведения могут использоваться для послесобытийного анализа, уточнения базы знаний, корректировки регламентов и повышения качества работы системы.

Таким образом, пример сценария показывает, что практическая ценность MLLM в системе ПДО состоит не в автономном принятии решений, а в формировании объяснимого и проверяемого аналитического вывода. Модель помогает связать данные от датчиков, сведения из внешних источников и регламентные требования в единое описание ситуации. Это повышает информативность системы, снижает когнитивную нагрузку на оператора и создает основу для более обоснованного анализа случившейся ситуации.

Заключение

Проведенный анализ показывает, что применение MLLM в задачах противодронной обороны целесообразно рассматривать прежде всего в информационно-аналитическом контуре, где требуется смысловая интерпретация разнородных данных, сопоставление текущей обстановки с внешними источниками знаний и подготовка объяснимого вывода для оператора.

В работе рассмотрены роль и место мультимодальных больших языковых моделей на различных этапах этих процессов. Показано, что MLLM в задачах технической обработки сведений об обнаруженном объекте не требуются, но могут стать эффективными в информационно-аналитическом контуре ПДО, но по сформированному формализованному описанию объекта с использованием дополнительной информации от внешних источников

проанализировать не только текущие наблюдаемые признаки объекта, но и сформировать аналитическое описание ситуации, решая как вторую основную задачу ситуационной осведомленности, так и формируя предложения по прогнозу ситуации на основе имеющихся прецедентов. Особо ценным является возможность объяснения причин произошедшего, перечень подтверждающих признаков, указание на неполноту данных и рекомендации по дополнительным действиям.

Таким образом, выводы, вырабатываемые MLLM, используются как один из элементов информационно-аналитической поддержки наряду с результатами специализированных алгоритмов, данными датчиков, регламентами и решением ответственных лиц. Такой подход снижает риск чрезмерного доверия к генеративным моделям и сохраняет контролируемость процесса принятия решений.

Список источников

1. Назаренко А.Г., Федоров М.В., Мошкин А.С. и др. Мультимодальные модели в медицинской диагностике как универсальный инструмент // Вестник Росздравнадзора. 2026. №1. С. 14-29.
2. Анисимов Р.О., Дворников А.Д., Кулагин К.А., Титова С.А., Петров К.В., Применение LLM-моделей на одноплатных компьютерах для реализации автономного полета БПЛА // Управление большими системами. 2025. Вып.117. С. 246-264. doi:10.25728/ubs.2025.117.12
3. Глухих И.Н., Глухих К.И. Разработка экспертных систем на основе большой языковой модели и генерации с дополненной выборкой // Инженерный вестник Дона. 2025. №11. URL: <https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2025/10496>
4. Wang J., Liu Y., Song H. Counter-Unmanned Aircraft System(s) (C-UAS): State of the Art, Challenges and Future Trends // IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine. 2021. Vol.36. No.3. P. 4-29. doi:10.1109/MAES.2020.3015537
5. Caffagni D., Cocchi F., Barsellotti L., Moratelli N., Sarto S., Baraldi L., Cornia M., Cucchiara R. The Revolution of Multimodal Large Language Models: A Survey // Findings of the Association for Computational Linguistics: ACL 2024 (Bangkok, Thailand: 2024, 11-16 Aug.). P. 13590-13618. doi:10.18653/v1/2024.findings-acl.807
6. Lewis P., Perez E., Piktus A. et al. Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks // Advances in Neural Information Processing Systems: NeurIPS 2020 (online: 2020, 11-16 Dec.). P. 9459-9474.

Информация об авторах

В.К. Абросимов – доктор технических наук, старший научный сотрудник, SPIN 7439-7007, <https://orcid.org/0000-0001-6701-2389>.

А.Х. Келоглян – <https://orcid.org/0009-0002-7602-7309>.

Научная статья
УДК 623:658.562

Роль цифровых технологий в обеспечении испытаний сложных технических систем

**Владимир Герасимович Найденев, Денис Леонидович Егоров,
Константин Викторович Лендоев**

Аннотация. В статье отмечается, что одним из направлений повышения эффективности экспериментально-испытательной базы полигонов является широкое внедрение цифровых технологий в процесс подготовки и проведения испытаний сложных технических систем. При этом рассмотрены две основные области применения цифровых технологий: при проведении моделирования испытываемых технических систем в рамках опытно-теоретического метода испытаний, а также применение цифровых технологий при автоматизации решения широкого круга задач полигонных испытаний технических систем. Рассмотрены этапы имитационного моделирования сложных технических систем, возможности применения цифровых двойников в рамках реализации опытно-теоретического метода испытаний, а также направления дальнейшего развития опытно-теоретического метода испытаний технических систем. Кроме того, рассмотрены области использования цифровых технологий при комплексной автоматизации широкого круга задач полигонных испытаний.

Ключевые слова: цифровые технологии; сложные технические системы; опытно-теоретический метод; натурные и модельные испытания; математические и компьютерные модели

Для цитирования: Найденев В.Г., Егоров Д.Л., Лендоев К.В. Роль цифровых технологий в обеспечении испытаний сложных технических систем // Вооружение и экономика. 2026. №3(77). С. 46-53.

Original article

The Role of Digital Technologies in Test Support of Complex Technical Systems

Vladimir G. Naidenov, Denis L. Egorov, Konstantin V. Lendoev

Abstract. The article notes that one of certain directions for the efficiency improvement prospects of the polygons experimental test base is the widespread digital technology introduction in the complex technical systems preparation and testing process. At the same time, two main areas of digital technologies application in the tested technical systems modeling within the frame of analytical method, and the use of digital technologies in the course of automation for wide range of tasks solution of technical systems polygon test are considered both. The stages of complex technical systems simulation modeling, the possibility of digital twin application within the framework of the experimental theoretical test method implementation, and the direction of further development of the experimental theoretical method of technical system tests are considered as well. In addition, the areas of use of digital technologies in the complex automation of a wide range of tasks, polygon tests are considered.

Keywords: digital technologies; complex technical system; experimental theoretical method; natural and model tests; mathematical and computer models

For citation: Naidenov V.G., Egorov D.L., Lendoev K.V. The Role of Digital Technologies in Test Support of Complex Technical Systems. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2026; 77(3): 46-53. (In Russ.).

Особенность современного этапа развития экспериментально-испытательной базы (ЭИБ) полигонов состоит в том, что основные ее технико-экономические показатели в рамках используемых аппаратных, программных и технологических решений достигли своих предельных значений. В этих условиях даже для незначительного повышения отдельных показателей эффективности экспериментально-испытательной базы полигонов, на основе ранее разработанных методических и технологических решений во многих случаях, требуются существенные, во многом неоправданные материальные затраты. Поэтому для дальнейшего повышения эффективности испытаний необходимо внедрение технологических инноваций [1].

Одним из направлений повышения эффективности экспериментально-испытательной базы полигонов является широкое внедрение цифровых технологий в процесс подготовки ЭИБ к проведению испытаний, в ходе проведения натурных и модельных испытаний

образцов сложных технических систем (ТС), а также в процесс обработки испытательной информации и представления результатов испытаний¹.

Известно, что основными видами испытательных работ, проводимых на полигонах, являются натурные и модельные испытания образцов сложных технических систем². При этом процесс натурных испытаний заключается в непосредственном экспериментальном исследовании изделия без изменения его собственной природы в естественных условиях существования. Такие испытания могут проводиться как при естественных внешних воздействующих факторах, так и при внешних воздействующих факторах, создаваемых искусственным путем с помощью специальных испытательных стендов или специальных методов и моделей, применяемых на испытательных полигонах.

Несомненно, натурные испытания образцов сложных ТС представляют собой наилучший способ получения искомых оценок тактико-технических характеристик и показателей эффективности испытываемых образцов, так как в процессе их проведения могут быть получены наиболее объективные статистические данные в условиях воздействия внешней среды, адекватных условиям дальнейшей эксплуатации испытываемых образцов ТС. Однако в процессе испытаний образцов ТС проведение большого количества натурных экспериментов существенно ограничено. Это связано с тем, что для проведения натурных испытаний ТС необходимы большие затраты времени, материальных и финансовых средств. Поэтому наряду с натурными испытаниями применяется и модельный подход. Последний основан на опосредованном познании, когда в силу различных обстоятельств вместо реального объекта непосредственно исследуется другой, сходный с ним и более доступный естественный или искусственный, материальный или идеальный объект, который в определенных отношениях, существенных свойствах замещает изучаемый реальный объект и дает о нем новые знания.

Технология модельных испытаний осуществляется с привлечением методов физического и математического моделирования. Применение этих методов позволяет отказаться от ряда сложных натурных испытаний реальных изделий или их макетов. Например, при проектировании изделия, когда реально оно еще не существует, модель позволяет проверить новые идеи и концепции, выдвигаемые в процессе разработки, методы и средства их реализации и оценить предлагаемый результат. При этом исследовательские испытания с использованием математических и физических моделей позволяют оценить потенциальные возможности новых идей и концепций при их реализации в будущем изделии.

В статье рассмотрены две области применения цифровых технологий в процессе проведения испытаний сложных ТС. Первая область связана с применением цифровых технологий при проведении моделирования испытываемых технических систем в рамках опытно-теоретического метода испытаний, а вторая область – с применением цифровых технологий при автоматизации решения широкого круга задач планирования испытаний ТС, подготовки ЭИБ испытательных полигонов к проведению испытаний, организации и управления процессом проведения испытаний, статистической обработки, представления и документирования результатов проводимых испытаний технических систем, а также с дальнейшим внедрением вычислительных средств и их программного обеспечения в средства ЭИБ, применяемых для обеспечения испытаний ТС.

Необходимо отметить, что рациональное сочетание натурных и модельных испытаний образцов сложных ТС представляет собой технологию опытно-теоретического метода испытаний образцов технических систем, который был разработан в 1960-х гг. У истоков разработки опытно-теоретического метода стояли такие видные ученые, как Н.Бусленко, И.Пенчуков, А.Шаракшанэ, И.Железнов, В.Ивницкий, В.Мудров и другие ученые.

¹ Буренок В.М., Найденов В.Г. Методы повышения эффективности применения средств и систем обеспечения испытаний вооружения, военной и специальной техники. М.: Граница, 2006. 263 с.

² См.: Шаракшанэ А.С., Железнов И.Г., Ивницкий В.А. Сложные системы: учеб. пособие. М.: Высшая школа, 1977. 247 с.; см. также [2].

Опытно-теоретический метод испытаний сложных ТС представляет собой систему взаимно связанных по технологическим процедурам, согласованных по решаемым задачам и этапам исследований, а также по выполняемым функциям методов аналитических исследований, натурных испытаний и моделирования. Этот метод базируется на научно обоснованном рациональном сочетании результатов сравнительно небольшого числа ресурсоемких натурных экспериментов с достаточно большим объемом результатов моделирования, получаемых с использованием математических и компьютерных моделей [3].

Основу опытно-теоретического метода испытаний сложных технических систем составляют математическая теория многофакторного планирования экспериментов, теория математической статистики и имитационного моделирования, а также методология рационального комплексирования данных, полученных в ходе натурных экспериментов, математического и физического моделирования. Именно в опытно-теоретическом методе испытаний сложных технических систем реализуется широко используемая в последнее время технология цифрового двойника изделия, который по своему определению представляет собой систему, состоящую из цифровой модели изделия и двусторонних информационных связей с изделием или его составными частями.

Классический опытно-теоретический метод испытаний предполагает реализацию сложного технологического процесса отработки и испытаний, создаваемых образцов сложных ТС. Основные положения опытно-теоретического метода испытаний приведены на рисунке 1 [1].

Отличительной чертой этого метода является то, что он позволяет оценивать как отдельные характеристики элементов в испытываемой системе, так и характеристики системы в целом в виде показателей эффективности в широком диапазоне их изменения. При этом одновременно решается задача наиболее рационального использования ограниченного числа натурных экспериментов, включая задачу увязки результатов экспериментов с результатами моделирования.



Рисунок 1 – Основные положения опытно-теоретического метода испытаний сложных технических систем

Применение опытно-теоретического метода испытаний сложных технических систем позволяет существенно снизить материальные и финансовые затраты на проведение испытаний. Кроме того, экспериментальные натурные испытания, как правило, не позволяют изучить поведение сложных технических систем во всем диапазоне условий применения из-за невозможности реального воспроизведения некоторых ситуаций применения испытываемых технических систем по назначению. В то же время, применение методов моделирования в рамках опытно-теоретического метода испытаний позволяет оценить технические характеристики испытываемых технических систем во всем факторном пространстве условий проведения их испытаний и дальнейшей эксплуатации технических систем.

В рамках реализации опытно-теоретического метода испытаний технических систем имеет место широкое применение цифровых имитационных моделей, которые по определению представляют собой систему математических и компьютерных моделей, а также электронных документов изделия, описывающую структуру, функциональность и поведение вновь разрабатываемого или эксплуатируемого изделия на различных стадиях жизненного цикла, для которой на основании результатов цифровых или иных испытаний выполняется оценка соответствия предъявляемых к изделию требований.

Несмотря на специфические особенности построения и применения каждой конкретной цифровой имитационной модели, в процессе моделирования можно выделить последовательность следующих этапов [3-5]:

- формулирование решаемой методами моделирования проблемы или задачи и определение целей исследования;
- изучение исследуемой системы и построение ее содержательного описания, выраженного в понятиях определенной предметной области;
- построение формализованного описания моделируемой системы, представленного формальными категориями на основе знаний, содержащихся в ее содержательном описании;
- разработка моделирующего алгоритма и реализация модели на ЭВМ, включая отладку программы;
- верификация модели, то есть подтверждение того, что программное обеспечение компьютерного моделирования выполняет подготовку исходных данных, расчеты и обработку результатов таких расчетов в соответствии с указанной математической моделью;
- валидация программного обеспечения компьютерного моделирования, то есть подтверждение того, что программное обеспечение компьютерного моделирования в заявленной области применения адекватно и с заданной степенью точности выполняет подготовку исходных данных, расчеты и обработку результатов таких расчетов;
- планирование и проведение имитационного эксперимента в соответствии с выбранным планом и получение требуемых данных об испытываемом объекте.

Отличительным признаком опытно-теоретического метода испытаний является использование цифровых моделей, прошедших валидацию по результатам натурных испытаний сложных технических систем. При этом под валидацией имитационной модели понимается процесс, позволяющий установить тот факт, что разрабатываемая модель является адекватной, то есть позволяющей достаточно точно описывать испытываемую техническую систему или ее составную часть. Под адекватностью модели и реального объекта испытаний понимается близость их выходных характеристик в соответствии с выбранным критерием согласия. Адекватность математической модели подтверждается, если установлено, что выходные данные модели соответствуют выходным данным реальной испытываемой ТС при идентичных входных воздействиях.

На этапе валидации математических моделей испытываемых ТС необходимо располагать математическим аппаратом, позволяющим проводить сравнительное оценивание различных решений, исходя из конечных целей всего процесса моделирования. Для разработки такого аппарата нужно иметь методики идентификации параметров разработанных математических моделей с конкретными показателями точности и достоверности, а также критерии сопоставления результатов натурных и модельных экспериментов, определяющих

меру близости соответствующих модельных и реальных процессов. Математически задача проверки адекватности модели реальному объекту испытания обычно формулируется как задача проверки некоторой совокупности гипотез. Конкретный вид и содержание проверяемых гипотез определяется для каждой рассматриваемой задачи в отдельности.

Необходимо также отметить, что в последние десятилетия теоретические исследования по совершенствованию опытно-теоретического метода испытаний сложных технических систем проводились без системной увязки всех аспектов проблемы обеспечения испытаний финальных образцов ТС только по отдельным направлениям. В основном эти исследования касались вопросов совершенствования технологии проектирования различных математических и компьютерных моделей. Однако, например, имеют место проблемные вопросы идентификации параметров многомерных математических нелинейных моделей технических систем, особенно в случаях наличия результатов натурных экспериментов малого размера, либо проведение идентификации параметров моделей по результатам проведения единичных экспериментов³. Слабо проработаны и вопросы определения оптимального соотношения количества натурных и модельных экспериментов, проводимых при испытаниях сложных технических систем.

Несмотря на все сложности в реализации на полигонах опытно-теоретического метода испытаний сложных технических систем, он и до настоящего времени составляет основу технологий полигонных испытаний образцов сложных ТС и его совершенствование является одним из основных направлений развития испытательного полигонного комплекса.

На рисунке 2 приведены основные направления, по которым должно идти развитие опытно-теоретического метода испытаний сложных технических систем.



Рисунок 2 – Направления развития опытно-теоретического метода испытаний сложных технических систем

³ Найденов В.Г. Алгоритм идентификации параметров сложных многомерных математических моделей испытываемых технических систем при реализации опытно-теоретического метода испытаний // Вооружение и экономика. 2025. №3(73). С. 26-35.

Главным принципом, наиболее полно обеспечивающим повышение точности и достоверности результатов испытаний, сокращение их продолжительности, уменьшение трудоемкости, стоимости и численности испытательного персонала, является принцип комплексной автоматизации испытаний, реализуемый путем применения автоматизированных систем испытаний различных классов и назначения, построенных на базе средств вычислительной техники и других средств автоматизации технологических процессов испытаний с использованием высокоточных средств измерений и соответствующего аттестованного испытательного оборудования. В основе комплексной автоматизации испытаний технических систем также лежат цифровые технологии.

Автоматизированная система испытаний представляет собой организационно-технический комплекс, предназначенный для обеспечения максимально возможного в данных условиях уровня автоматизации испытательных работ. В такой системе сочетаются информационно-измерительные и управляющие функции как по отношению к объекту испытаний, так и к условиям его функционирования.

Автоматизированные системы испытаний различного назначения, построенные на основе цифровых технологий, как организационно-технические комплексы включают следующие составные части:

- техническое обеспечение, объединяющее всю совокупность информационно-измерительной, вычислительно-моделирующей и управляющей техники, обеспечивающей функционирование системы испытаний;
- математическое обеспечение, состоящее из математических методов, моделей и алгоритмов, используемых в технологии испытаний;
- программное обеспечение, состоящее из пакетов программ автоматизации измерений, регистрации, обработки, отображения и документирования результатов испытаний, а также комплекса программ управления процессом испытаний;
- лингвистическое обеспечение, объединяющее всю совокупность специализированных языковых средств и трансляторов для взаимодействия обслуживающего персонала с системой;
- организационно-методическое обеспечение, определяющее режимы эксплуатации системы и действия обслуживающего персонала.

Конкретный состав и логика взаимодействия составляющих этих видов обеспечения автоматизированной системы испытаний должны выбираться, исходя из целей и задач соответствующих испытаний.

В настоящее время цифровые технологии в составе экспериментально-испытательной базы полигонов применяются в следующих средствах и системах:

- в средствах траекторных, радиотелеметрических и других видов измерений, в средствах создания фоно-целевой обстановки в районе проведения испытаний технических систем, а также в стендах математического и физического моделирования при реализации опытно-теоретического метода испытаний технических систем;
- в автоматизированных системах планирования, управления процессом подготовки и проведения испытаний образцов ТС, а также системах обеспечения безопасности проведения натурных испытаний технических систем;
- в автоматизированных системах сбора и передачи измерительной и другого вида испытательной информации, а также в системах связи и другой телекоммуникационной аппаратуре;
- в системах автоматизированной математической обработки измерительной и другой испытательной информации, полученной в ходе проведения испытаний образцов сложных технических систем;
- в системах математической обработки результатов испытаний, включающих комплекс расчетных моделей оценки тактико-технических характеристик испытываемых технических систем;
- в автоматизированных системах отображения и документирования результатов полигонных испытаний образцов сложных технических систем.

Применение цифровых технологий в средствах экспериментально-испытательной базы полигонов можно рассмотреть на примере современной радиолокационной станции траекторных измерений, в которой цифровые технологии выполняют следующие основные функции:

- формирования сложных зондирующих сигналов и управления диаграммой направленности антенной решетки;
- цифровой обработки радиолокационной информации о параметрах траекторий полета летательных аппаратов;
- обеспечения помехозащищенности радиолокационной станции от естественных и преднамеренных помех;
- формирования выходной измерительной информации о параметрах траекторий полета летательных аппаратов и другой служебной информации в форматах стандартных протоколов для передачи в центр обработки по телекоммуникационным каналам передачи данных.

Широкое применение цифровых технологий имеет место и в большинстве других средств обеспечения испытаний.

Рассматривая направления совершенствования цифровых технологий в полигонных испытаниях технических систем, нельзя не остановиться на вопросе совершенствования методик проведения оценок достигнутого уровня внедрения современных цифровых технологий в испытательный процесс образцов ТС, что весьма важно для объективного контроля процесса управления качеством полигонных испытаний. Такая оценка может основываться на сопоставлении значений основных характеристик процесса полигонных испытаний (стоимость испытаний, объем и достоверность оцениваемых тактико-технических характеристик ТС, время проведения испытаний и т.д.) до и после внедрения новых цифровых технологий.

Таким образом, весь опыт проведения испытаний современных образцов сложных технических систем показывает, что для повышения эффективности применения экспериментально-испытательной базы полигонов требуется дальнейшее широкое внедрение цифровых технологий во все сферы испытательного процесса, начиная с этапа планирования испытательных работ и заканчивая этапом отображения и документирования результатов оценок проведенных испытаний таких технических систем. Основными направлениями внедрения цифровых технологий в процесс обеспечения испытаний сложных ТС являются широкое применение цифровых двойников в рамках реализации опытно-теоретического метода испытаний, а также применением цифровых технологий для полной автоматизации решения задач планирования испытаний ТС, организации и управления процессом проведения испытаний, статистической обработки, визуализации и документирования результатов проводимых испытаний технических систем. По мере усложнения образцов испытываемых технических систем, ужесточения требований к точности и достоверности оценок их тактико-технических характеристик, а также снижения сроков проведения испытаний роль цифровых технологий в процессе испытаний таких ТС будет неуклонно повышаться.

Список источников

1. Найденов В.Г., Тарасенко К.А. Методический подход к определению рационального объема проводимых натурных экспериментов при испытаниях сложных технических комплексов // Вооружение и экономика. 2022. №4(62). С. 14-23.
2. Мустафаев Н.Г., Жуков А.А., Гаврилов М.В. Эффективность применения виртуальной реальности в оборонно-промышленном комплексе: современные технологии и перспективы // Проблемы повышения эффективности научной работы в оборонно-промышленном комплексе России: материалы VII Всеросс. науч.-практ. конф. (г. Знаменск, 11-12 апреля 2024 г.). Астрахань: АГУ им. В.Н. Татищева, 2024. С. 85-90.

3. Системно-концептуальные основы методологии военно-научных исследований и решения прикладных военно-технических проблем: монография в 3 кн. Кн.3 / Под ред. Б.А. Демидова. Тверь: ОПВЭиФ, 2014. 560 с.

4. Контролинг в управлении качеством и надежностью специальной электроники и электротехники. Т.2: Методологические основы обеспечения качества на стадии НИОКР и серийного производства: монография / Под ред. С.И. Бокова. Ярославль: Канцлер, 2025. 278 с.

5. Бусленко В.Н. Автоматизация имитационного моделирования сложных систем. М.: Наука, 1977. 239 с.

Информация об авторах

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

Д.Л. Егоров – <https://orcid.org/0009-0006-9342-6175>.

К.В. Лендоев – SPIN 1414-2304.

Научная статья
УДК 623.746.4

О свойствах, боевых возможностях и эффективности авиационных комплексов

Владимир Дмитриевич Степанов

Аннотация. В статье проводится анализ категорий функциональных и боевых свойств, боевых возможностей и эффективности авиационных комплексов. Выявлены основные проблемы применения существующего понятийного аппарата, заключающиеся в неоднозначном толковании категорий боевых возможностей и боевой эффективности, а также в отсутствии общепринятой иерархической структуры используемых понятий. В результате проведённого анализа уточнены понятия боевых возможностей и боевой эффективности, введено новое понятие боевых качеств авиационного комплекса. Предложена иерархическая схема рассмотренных понятий, устанавливающая причинно-следственные связи между ними.

Ключевые слова: авиационный комплекс; категория; свойства; качества; боевая задача; боевые возможности; боевая эффективность

Для цитирования: Степанов В.Д. О свойствах, боевых возможностях и эффективности авиационных комплексов // Вооружение и экономика. 2026. №3(77). С. 54-60.

Original article

On the properties, combat capabilities, and efficiency of aviation complexes

Vladimir D. Stepanov

Abstract. The article analyzes the categories of functional and combat properties, combat capabilities and effectiveness of aviation complexes. The main problems in applying the existing conceptual framework are identified, which consist in the ambiguous interpretation of the categories of combat capabilities and combat effectiveness, as well as in the absence of a generally accepted hierarchical structure of the concepts used. As a result of the analysis, the concepts of combat capabilities and combat effectiveness are clarified, and a new concept of the combat qualities of an aviation complex is introduced. A hierarchical scheme of the concepts under consideration is proposed, establishing cause-and-effect relationships between them.

Keywords: aviation complex; category; properties; qualities; combat mission; combat capabilities; combat effectiveness

For citation: Stepanov V.D. On the properties, combat capabilities, and efficiency of aviation complexes. *Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics*. 2026; 77(3): 54-60. (In Russ.).

Существующая и широко применяемая в настоящее время методология военнотехнических исследований (ВНИ) авиационных комплексов (АК) [1] опирается на ряд фундаментальных понятий, характеризующих предметную область проводимых исследований. Важнейшими из них являются функциональные и боевые свойства, боевые возможности (БВ) и боевая эффективность (БЭ) АК. Наиболее полное и системное описание данных категорий дано в работах [2; 3]. В них предложены следующие приведённые ниже определения.

Функциональное свойство АК – категория, характеризующая способность АК выполнять определённые функции и определяемая параметрами его подсистем (планера, силовой установки, комплексов бортового оборудования и вооружения), обуславливающая его отличия или общность по отношению к другим аналогичным объектам, проявляющиеся в процессе его боевого применения (боевой подготовки). Основными функциональными свойствами АК принято считать multifunctionality, маневренность (сверхманевренность), заметность, боевую живучесть и др. С развитием и внедрением на АК новых технологий предлагается рассматривать такие новые функциональные свойства как информативность, интеллектуальность и пр.

Боевое (обобщённое) свойство АК – категория, определяющая такую сторону АК, которая обуславливает его отличия или общность по отношению к другим аналогичным объектам, проявляющиеся в процессе его боевого применения. В указанных работах утверждается, что АК может быть полностью охарактеризован такими боевыми свойствами, как боевая

мощь, выживаемость, мобильность и применимость. Боевая мощь и выживаемость оцениваются показателями соответственно ущерба и потерь. Мобильность и применимость – функциями, учитывающими скоростные параметры, характеристики боеготовности и др.

Боевые возможности АК – совокупность эффективных, пространственных и временных показателей, определяющих способность АК решать возлагаемые на него боевые задачи в различных условиях боевого применения.

Боевая эффективность АК – абстрактный показатель оценки степени приспособленности АК к нанесению противнику боевого ущерба в соответствии с предназначением.

Основные проблемы применения предложенного понятийного аппарата, на взгляд автора, заключаются в:

- трактовке категории боевой эффективности;
- соотношении категорий боевых возможностей и боевой эффективности;
- отсутствии общепринятой иерархической структуры категорий свойств, боевых возможностей и эффективности, которая учитывала бы причинно-следственные связи между ними и отражала бы результаты комплексной оценки АК с позиции реализации его предназначения.

Последовательно рассмотрим эти проблемы.

Относительно приведённого выше определения боевой эффективности необходимо отметить два обстоятельства. Во-первых, представляется не очень корректным сводить боевую эффективность исключительно к нанесению ущерба противнику. Важно не только нанести противнику максимальный ущерб в текущем вылете (операции), но и сохранить группировку АК для выполнения задач в последующих вылетах (операциях). То есть фактор выживаемости играет не менее важную роль, что и фактор боевой мощи. Это утверждение и отражает различные формы боевого потенциала АК как интегрального показателя его боевой эффективности.

Помимо этого, трактовка боевой эффективности как абстрактной категории представляется излишней, поскольку приводит к определенным разночтениям. Если следовать общенаучному классическому понятию абстракции как мысленному отвлечению от несущественных признаков с целью выделения существенных сторон предмета (явления)¹, то это само собой разумеется, поскольку на абстрактном мышлении основана вся современная наука. Однако проблема заключается в том, что многие исследователи, воспринимая это понятие на бытовом разговорном уровне, трактуют в результате категорию боевой эффективности как существующую только в воображении и отсутствующую в реальности². А это совсем не так.

Напомним, что эффект – это результат, следствие каких-либо причин, действий³. Поэтому боевая эффективность на самом деле не вымышленная сущность, а вполне конкретная quintessence боевого применения АК, характеризующая материальный результат, получаемый в реальной боевой операции в виде количества поражённых объектов (целей) противника, количества собственных самолётов, потерянных в ходе боевых действий и др. Другое дело, что оценить боевую эффективность АК в ходе реальных боевых действий, к счастью, удаётся не так часто. Поэтому в ходе ВНИ АК значение боевой эффективности прогнозируется в неких расчётных сценарных условиях, которые, к сожалению, потом часто значительно отличаются от неожиданно возникающей реальности. Но это уже тема для другого разговора.

Определять боевую эффективность как некий обобщённый показатель, также представляется некорректным. Прежде всего потому, что боевая эффективность АК в общем случае отображается множеством частных и интегральных показателей, которые характеризуют результативность применения АК при решении в различных условиях различных по содержанию задач и их расчётной совокупности. Поэтому правильнее говорить о множестве показателей. Но дело даже не в этом.

¹ Большой энциклопедический словарь / Гл. ред. А.М. Прохоров. 2-е изд., перераб. и доп. М: Большая Российская энциклопедия; СПб.: Норинт, 2004. 1456 с.

² Большой толковый словарь русского языка / Гл. ред. С.А. Кузнецов. СПб.: Норинт, 2003. 1534 с.

³ Там же.

Показатель – это данные, по которым можно судить о развитии, ходе, свойствах и качествах чего-либо⁴. И данные – это инструмент оценки некой сущности, но не сама сущность. Сущность может оцениваться разными показателями в зависимости от взгляда исследователя на неё и целей исследования. Поэтому с точки зрения лексики русского языка эффективный – это дающий эффект, действенный⁵. А эффективность определяется как способность давать эффект, приводить к нужным результатам⁶. То есть боевая эффективность – это способность авиационного комплекса давать эффект в процессе боевого применения в конкретных условиях, который оценивается множеством различных показателей. И никак наоборот.

Поэтому с учётом отмеченного и в интересах унификации понятийного аппарата более правильным будет пользоваться другим, не менее распространённым определением, приведённым в работе [1]:

Эффективность АК – это степень его приспособленности к выполнению боевых задач в заданных условиях боевого применения.

Перейдём далее к анализу категории боевых возможностей АК. Здесь мы также наблюдаем отсутствие однозначного и общепринятого толкования этого понятия.

Начнём с того, что в ряде работ вообще утверждается, что боевая эффективность и боевые возможности являются фактически одной категорией. При этом предполагается, что боевая эффективность оценивается на едином расчётном оперативно-тактическом фоне для предельных значений характеристик АК, а понятие боевых возможностей лишь определяет (детализирует, конкретизирует) эффективность АК для рассматриваемых условий применения [1; 4].

В большинстве других научных работ, как было уже отмечено в начале статьи, боевые возможности АК определяются как совокупность эффективностных, пространственных и временных показателей.

В первом случае предлагаемая трактовка категорий БЭ и БВ представляется достаточно искусственной, поскольку не должно существовать БЭ, оторванной от условий её оценки, будь то вполне конкретных или обобщённых, учитывающих неопределённый характер будущих боевых действий.

Относительно второго подхода можно заметить, что предлагаемое определение созвучно с классическим определением БВ войск:

Боевые возможности – это совокупность количественных и качественных показателей, характеризующих способность войск (сил) по выполнению определённых боевых задач в установленные сроки и в конкретных условиях обстановки⁷.

Но относительно данного определения уже давно открыта и продолжается дискуссия. Автор статьи полностью согласен с работами [5; 6], в которых утверждается, что сведение БВ к совокупности показателей лишает их сущности, поскольку трудно понять, что же обладает характеристиками. Кроме того, само множество этих показателей требует анализа. Остановимся вначале на пространственных и временных показателях.

К пространственным показателям АК, как правило, относят:

- радиусы действий с заданной боевой нагрузкой на заданных профилях полёта;
- рубежи перехвата воздушных целей;
- диапазоны высот и скоростей полёта;
- области возможных атак и др.

Временные показатели включают в себя:

- времена различных видов подготовки авиационной техники на земле;
- время выхода в район расположения объекта действия;
- время выполнения боевой задачи и др.

⁴ Большой толковый словарь. Указ. соч.

⁵ Там же.

⁶ Там же; см. также: Словарь синонимов русского языка. URL: <https://sinonim.org/>

⁷ Военный энциклопедический словарь / Гл. ред. С.Ф. Ахромеев. М.: Воениздат, 1986. 863 с.

Множество данных показателей сложилось исторически прежде всего в интересах однозначной и достоверной оценки возможностей АК в ходе их испытаний в неких типовых условиях на полигонах. Чтобы разобраться с обоснованностью такого подхода, необходимо напомнить о соотношении понятий «возможности» и «способности»⁸:

возможности – это средства, условия, обстоятельства, необходимые для чего-либо;

способности – это умение производить какие-либо действия, свойства или состояние, *дающие возможность* осуществлять что-либо.

То есть способности однозначным образом определяются качествами и характеристиками объекта или явления. Возможности определяются способностями объекта или явления, но существенным образом зависят от внешних, независимых от объекта или явления факторов. Например, аэродинамическая компоновка, запас топлива, высотнo-скоростные и дроссельные характеристики силовой установки позволяют авиационному комплексу достигнуть объекта действия на глубине 500 км с боевой нагрузкой 3 т. Но возможность осуществления этого будет очень сильно зависеть от поведения противника, в данном случае от состояния и параметров его системы противовоздушной обороны (ПВО).

Анализ общепринятых пространственных и временных показателей БВ АК с учётом изложенного приводит к пониманию, что мы имеем дело не с возможностями, а со способностями или качествами АК в контексте понимания *качества* как существенного признака или свойства, отличающего один предмет от другого⁹.

С так называемыми эффективностными показателями БВ ситуация оказывается ещё сложнее. К ним, как правило, относят ряд частных показателей боевой эффективности, таких как вероятность своевременного вылета, вероятность преодоления ПВО противника, вероятность поражения воздушной или наземной (надводной) цели и других показателей, характеризующих эффективность выполнения отдельных боевых задач или их этапов.

Однако авторы данной трактовки БВ АК почему-то не делают следующий, казалось бы, логичный шаг и нигде в своих работах не утверждают, что БЭ является составной частью БВ АК, оставляя интегральную оценку эффективности АК где-то за рамками оценок БВ. Такая ситуация и в теории, и на практике приводит к разрушению целостности категории боевой эффективности, характеризуемой множеством взаимосвязанных частных и интегральных показателей. Кроме того, при принятой трактовке БВ АК нарушается принцип иерархичности системных исследований АК, поскольку эффективностные показатели являются функцией и пространственных и временных показателей и не могут находиться на одном и том же уровне.

При этом вне поля зрения в рамках принятого подхода к оценке БВ АК остаются крайне важные обстоятельства.

Во-первых, способность АК решать боевые задачи помимо пространственных и временных свойств в значительной степени определяется большим количеством параметров, имеющих стохастическую природу и характеризующих эффективность составных частей комплексов бортового оборудования и вооружения АК. Поэтому вместо группы эффективностных показателей необходимо определить группу *вероятностных* показателей с включением в неё:

- вероятности обнаружения цели различными обзорно-прицельными системами на различных дальностях в различных условиях;
- вероятности сопровождения обнаруженной цели в различной помеховой обстановке;
- вероятности срыва наведения ракеты, пущенной истребителем или зенитно-ракетным комплексом противника;
- вероятное отклонение точки прицеливания от координат объекта действия;
- вероятное отклонение применяемого средства поражения от точки прицеливания и др.

Во-вторых, в современной войне боевая эффективность АК, конечно, зависит от того на какую дальность, с какой скоростью и боевой нагрузкой долетит самолёт.

⁸ Большой толковый словарь. Указ. соч.

⁹ Там же.

Традиционные тактико-технические характеристики (ТТХ) АК были и безусловно остаются важными для достижения нужного результата. Но всё большее влияние оказывает то, насколько разнообразным и устойчивым к внешним воздействиям будет его боевое применение. Речь идёт о функциях и режимах, которые весьма трудно описать в рамках сложившегося понимания технического облика АК и которые не выводятся исключительно из его ТТХ, определяющих основное содержание требований назначения в тактико-техническом задании (ТТЗ) заказчика. В значительно большей степени эти функции и режимы зависят от содержания и качества функционально-программного обеспечения, которые очень слабо регламентируются ТТЗ заказчика. Например, реализация режима передачи пущенной ракеты «воздух-воздух» с одного истребителя на другой решающим образом меняет картину дальнего воздушного боя и безусловно зависит от характеристик бортовой радиолокационной станции, комплекса связи и вычислительной системы. Но напрямую связана с разработкой специального программного обеспечения. Поэтому для полного описания способностей боевого АК помимо пространственных, временных и вероятностных признаков необходимо вводить группу функциональных признаков, определяющих возможности АК в части различных способов и приёмов применения прежде всего бортового оборудования и вооружения.

Таким образом, подводя промежуточный итог, можно констатировать, что, рассматривая вышеупомянутые показатели, мы имеем дело не напрямую с боевыми возможностями АК, а с его способностями, качествами, которые можно определить следующим образом:

Боевые качества АК – это существенные признаки и свойства, характеризующие способность АК к выполнению действий и функций в соответствии со своим предназначением, уровень которых оценивается совокупностью пространственных, временных, вероятностных и функциональных показателей.

Одним из основных критериев включения того или иного признака в совокупность боевых качеств должна стать возможность полной и достоверной его оценки в ходе испытаний в стандартизированных полигонных условиях.

После полученного вывода вернёмся к анализу категории боевых возможностей. Для этого можно сделать следующие, очевидные на взгляд автора, утверждения:

- боевые возможности АК есть условная категория. Они являются результатом соизмерения располагаемых свойств и признаков АК с их потребным уровнем для оценки способности АК по решению поставленных боевых задач в конкретных рассматриваемых условиях;
- способность АК по решению боевых задач определяется боевыми качествами АК (в трактовке данного в настоящей статье определения), которые, в свою очередь, зависят от характеристик технического облика АК и его функциональных свойств;
- категории боевых возможностей и боевой эффективности находятся в неразрывном единстве. Боевая эффективность является мерой боевых возможностей различных АК в различных условиях боевого применения.

Из данных утверждений следует, что боевые возможности – это категория верхнего уровня, объединяющая в себе в диалектическом единстве предназначение АК в виде боевых задач, которые он должен решать, боевые качества АК, характеризующие способность АК по решению данных задач, различные условия боевого применения, в которых АК должен реализовывать свои боевые качества, и результат решения боевых задач в различных условиях, оцениваемый множеством частных и интегральных показателей боевой эффективности.

Этому пониманию соответствует следующее определение:

Боевые возможности АК – это совокупность условий и средств, позволяющих авиационному комплексу выполнять боевые задачи в соответствии со своим предназначением за отведённое время с уровнем боевой эффективности, соответствующим конкретным условиям боевого применения.

При этом под *средствами* понимаются приёмы, способы действия для достижения чего-либо¹⁰.

¹⁰ Большой толковый словарь. Указ. соч.

На основании рассуждений, сделанных в настоящей статье, на рисунке 1 предлагается иерархическая схема основных понятий методологии ВНИ АК, устанавливающая причинно-следственные связи между ними.

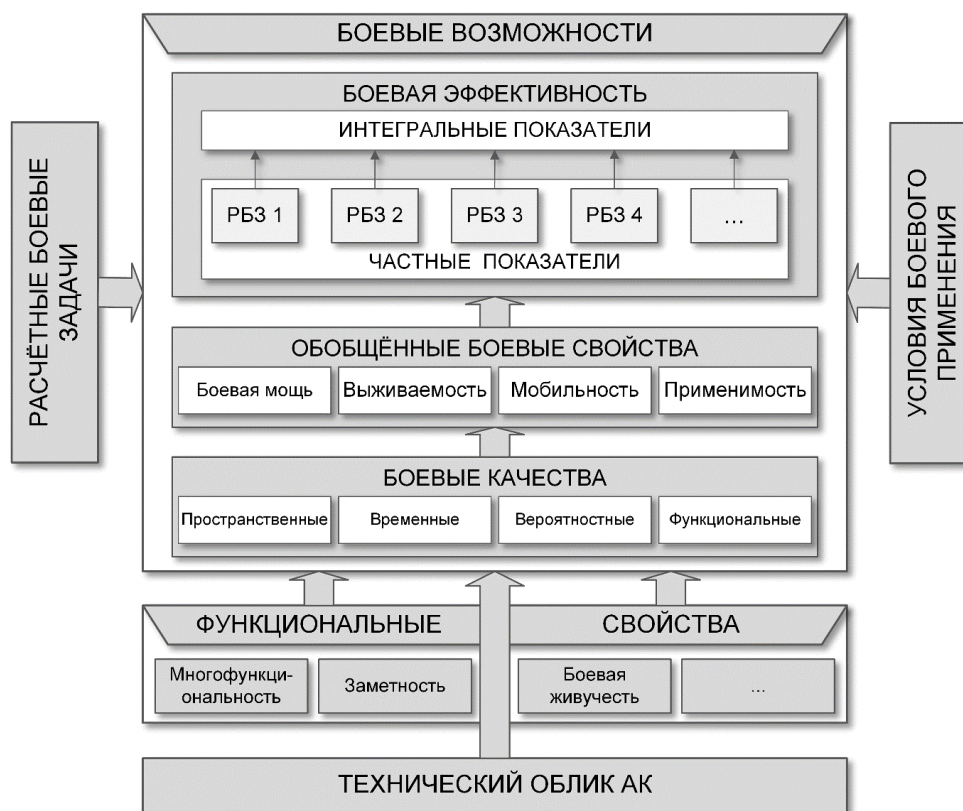


Рисунок 1 – Иерархическая схема категорий методологии ВНИ АК

Фундаментом данной схемы является понятие *технического облика АК*, представляющего собой совокупность количественно-качественных показателей, определяющих конструктивно-аэродинамическую схему АК, его силовую установку, состав и характеристики комплексов бортового оборудования и вооружения, обеспечивающих реализацию заданных тактико-технических требований [2]. В формализованном виде технический облик представляют в виде множества параметров:

$$X = \{x_i\}, i = \overline{1, I},$$

где: x_i – значение i -го параметра технического облика АК.

Опираясь на технический облик в интересах выделения существенных особенностей АК, определяют множество его функциональных свойств:

$$Y = \{y_j\}, j = \overline{1, J},$$

$$y_j = \{[x_{ij}^{min}, x_{ij}^{max}] | x_i \in X_j\}, X_j \subset X,$$

где: X_j – множество параметров технического облика АК, определяющих j -е функциональное свойство;

$x_{ij}^{min}, x_{ij}^{max}$ – минимальное и максимальное значение i -го параметра технического облика АК, определяющие допустимые границы реализации j -го функционального свойства.

Такая декомпозиция технического облика АК осуществляется прежде всего на этапе концептуальных исследований в интересах формирования рациональной концепции АК, которая в формализованном виде представляется именно как совокупность функциональных свойств.

Технический облик и функциональные свойства АК определяют его боевые возможности, которые включают в себя боевые качества, обобщённые боевые свойства и боевую эффективность АК при решении различных расчётных боевых задач и их совокупности в различных условиях. Включение обобщённых боевых свойств АК в данную схему основано на понимании автора, что боевые свойства АК (боевая мощь, выживаемость, мобильность и применимость) являются основными компонентами боевой эффективности, исторически сложившимся результатом декомпозиции БЭ на важнейшие составные части. Данные свойства оцениваются и в векторном, и интегральном виде на различных этапах ВНИ в процессе комплексного анализа АК.

Исходя из предложенной схемы следует, что боевые возможности в общем случае оцениваются при помощи множества показателей боевых качеств (пространственных, временных, вероятностных и функциональных), показателей обобщённых боевых свойств, частных и интегральных показателей боевой эффективности. Все они являются функциями параметров технического облика и функциональных свойств АК.

Таким образом, в настоящей статье проведена систематизация основных категорий методологии ВНИ АК на основе уточнения понятий боевой эффективности и боевых возможностей, а также введения понятия боевых качеств, характеризующих способность АК к выполнению действий и функций, направленных на решение боевых задач в соответствии с предназначением комплекса. Полученные результаты позволят более системно подходить к проведению военно-научных исследований и испытаний боевых авиационных комплексов, учитывая причинно-следственные связи между основными параметрами и показателями.

Список источников

1. Платунов В.С. Методология системных военно-научных исследований авиационных комплексов. М.: Дельта, 2005. 344 с.
2. Скопец Г.М. Внешнее проектирование авиационных комплексов: методологические аспекты. М.: Ленанд, 2017. 343 с.
3. Барковский В.И., Скопец Г.М., Степанов В.Д. Методология формирования технического облика экспортно ориентированных авиационных комплексов / Под ред. В.И. Барковского. М.: Физматлит, 2008. 244 с.
4. Бонин А.С. Основные положения методических подходов к оценке боевых потенциалов и боевых возможностей авиационных формирований // Военная мысль. 2008. №1. С. 43-47.
5. Липаткин А.В. О боевых возможностях воинских формирований // Военная мысль. 2006. №7. С. 37-40.
6. Бузин Н.Е. О боевых возможностях общевойсковых формирований // Наука и военная безопасность. 2008. №3. С. 3-8.

Информация об авторе

В.Д. Степанов – доктор технических наук, старший научный сотрудник, SPIN 7427-4640.

Научная статья
УДК 621.454.2

Проблемные вопросы обеспечения кратности использования многоразовых средств выведения космических аппаратов

Алексей Эдыгарович Султанов

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы обеспечения ресурса многоразовых элементов средств выведения в контексте обеспечения требуемого уровня функциональной надежности при интенсивном задействовании в процессе реализации современных космических программ. Представлены рациональные варианты обеспечения равномерности расходования ресурса в базовых элементах ракет-носителей. Предложен новый способ адаптивного управления расходованием ресурса, базирующийся на анализе многоразового ракетного блока как сложной нестационарной автоколебательной системы.

Ключевые слова: многоразовый ракетный блок; средство выведения; управление расходованием ресурса; надежность

Для цитирования: Султанов А.Э. Проблемные вопросы обеспечения кратности использования многоразовых средств выведения космических аппаратов // Вооружение и экономика. 2026. №3(77). С. 61-68.

Original article

Problematic Issues of the Multiplicity Resources of Reusable Spacecraft Launch Vehicles

Aleksei E. Sultanov

Abstract. The article discusses the issues of resources of reusable launch vehicle elements in the context of the required functional reliability level provision at the intensive employment in the course of modern space programs implementation. Rational options of resource consumption uniformity provision of launch basic elements vehicles are presented. A new method of adaptive resource management based on a reusable rocket block analysis as a complex non-stationary self-oscillating system is proposed.

Keywords: reusable rocket block; launch vehicle; resource management; reliability

For citation: Sultanov A.E. Problematic Issues of the Multiplicity Resources of Reusable Spacecraft Launch Vehicles. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2026; 77(3): 61-68. (In Russ.).

Введение

Появление у ведущих в экономическом и технологическом плане государств многоразовых средств выведения в последнее десятилетие значительно расширило их возможности по развертыванию многоплоскостных орбитальных группировок космических аппаратов. Это стало мощным толчком в развитии в том числе роботизированных комплексов различного назначения, управляемых с помощью высокоскоростных каналов передачи информации на значительные расстояния. В том числе это позволило компании «SpaceX» (США) реализовать канал передачи высококачественной видеоинформации с борта ракеты-носителя (РН) «BFR» в реальном масштабе времени [1]. За счет космических аппаратов-ретрансляторов этой компании впервые удалось обеспечить передачу информации с борта второй ступени РН «BFR» при входе в плотные слои атмосферы, нивелируя негативное влияние плазмы.

В то же время переход к использованию многоразовых средств выведения (частично-спасаемых) требует решения новых научно-практических задач, связанных с обеспечением надежности. Деградиционные процессы в элементах конструкции и высоконагруженных элементах пневмогидравлических систем РН при многократном использовании ступеней становятся ведущим фактором, определяющим уровень надежности средства выведения, повышая вероятность критических отказов в процессе функционирования. С другой стороны, накопление скрытых повреждений, например в несущих топливных баках, требует в свою очередь от системы эксплуатации применение средств неразрушающего контроля для оценки степени критичности повреждений и оценивания остаточного ресурса. Указанные

особенности многоразовых средств выведения выступают сдерживающим фактором для многократного использования спасаемых элементов РН, ограничивая их конкурентоспособность.

Актуальность анализа путей обеспечения кратности использования многоразовых РН связана с противоречием между необходимостью обеспечения требуемого уровня надежности (не ниже 0,98 [2]) и возрастанием стоимости разработки.

В разрабатываемом космическом ракетном комплексе «Амур-СПГ» закладывается ресурс многоразовой первой ступени на уровне тридцати. Такая степень многоразовости позволяет в целом решать задачу интенсивного развертывания многоспутниковых группировок космических аппаратов (КА). При этом не до конца исследованным остается вопрос расходования ресурса составных частей многоразовых ракетных блоков.

Постановка задачи исследования

Для поиска рационального облика РН с многоразовым ракетным блоком (МРБ) при обосновании конструкторских решений необходимо учитывать как предельный ресурс всей ступени РН, так и возможность использования в дополнение к элементам разового действия также и составных частей с ограниченным ресурсом.

С точки зрения минимизации затрат на эксплуатацию таких РН, очевидно, можно найти такое сочетание удельных стоимостей составных частей C_i , при которых с учетом заложенных в них кратности использования (ресурса) можно достичь минимума общей стоимости изделия.

Математическая постановка такой задачи может быть записана как задача поиска минимума функции X^* , описывающей распределение всей совокупности составных частей по категориям многоразовости с учетом ограничений δ_i :

$$X^* = \underset{\delta \in Wi}{\operatorname{argmin}} C_{\Sigma}(X),$$

где: C_{Σ} – суммарная стоимость разработки и эксплуатации МРБ.

Суммарная стоимость учитывает стоимость составной части (СЧ) РН и наибольшее целое число замен на всем периоде эксплуатации МРБ:

$$C_{\Sigma}(X) = \sum_{i=1,n} C_i \left\lceil \frac{N_{\text{МРБ}}}{N_i} \right\rceil.$$

Для корректного учета специфики реализации технологии многоразовости РН целесообразно все СЧ МРБ разделять на три категории:

- *базовые элементы*, имеющие максимальный ресурс и определяющие предельную кратность использования МРБ (I);
- элементы с малым ресурсом (с ресурсом существенно меньшим, чем ресурс базовых элементов) (II);
- элементы разового действия (III).

Схематично структуру распределения ресурса между СЧ МРБ иллюстрирует схема на рисунке 1.

Последние представляют собой наиболее простую группу элементов, ресурс которых определять нецелесообразно в силу однократности их срабатывания (пироклапаны, пирозамки, сминаемые накладки под посадочные опоры). Как правило, их вклад в стоимость изделия незначителен в силу простоты конструктивного исполнения, а также унификации.

Важно, что подходы к их проектированию хорошо отработаны, а требования к ресурсу – детерминированы. Также стоит отметить, что для данной категории составных частей МРБ достаточно просто можно оценить вероятность безотказной работы (ВБР). Примерами таких СЧ могут выступать: пиросредства (клапаны, замки, фиксаторы); элементы теплозащиты; деформируемые элементы посадочных опор и др.

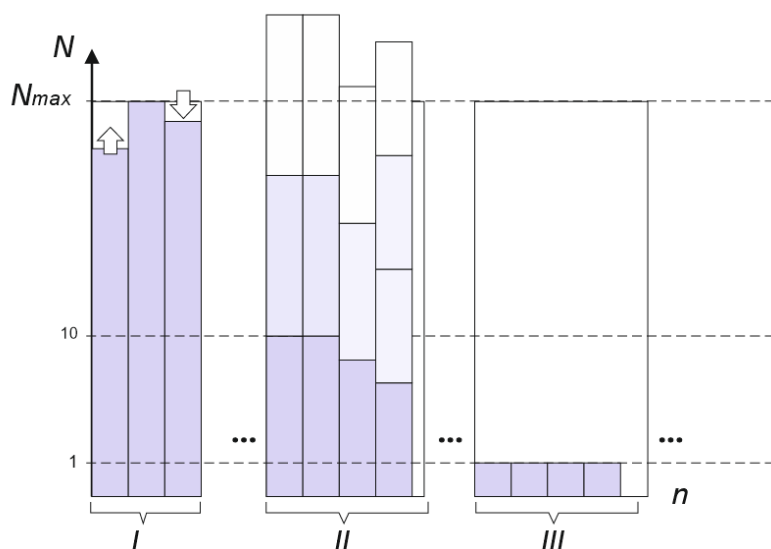


Рисунок 1 – Схема распределения ресурса СЧ МРБ

Категория элементов с малым ресурсом включает в себя наиболее нагруженные элементы МРБ, для которых характерно интенсивное накопление повреждений D_{ij} . Для таких элементов как жидкостный ракетный двигатель также необходимо учитывать ограничения по контролепригодности, снижающие результативность использования средств неразрушающего контроля (НК).

Учет стоимостных показателей

Для оценки удельной стоимости выведения полезного груза может быть использовано математическое соотношение, описанное в [3]:

$$C = \frac{1}{k} (C_{ДУ1} m_{ДУ1} \left(\frac{a}{n} + b \right) + C_{б01} m_{б01} + C_{нб1} m_{нб1} \left(\frac{a}{n} + b \right) + C_{о2} m_{о2} + C_T m_{T1} + C_{ДУ2} m_{ДУ2} + C_{б02} m_{б02} + C_{нб2} m_{нб2} + C_{о2} m_{о2} + C_T m_{T2} + \frac{C_{пу}}{M_{РН}}).$$

При учете ресурса двигателей первой ступени на уровне 10 пусков зависимость удельной стоимости от числа циклов использования имеет вид, представленный на рисунке 2.

Максимальный ресурс N_{max} МРБ в конечном счете будет определяться ресурсом его базовых элементов, замена которых либо чрезмерно затратна, либо не имеет смысла по причине доминирования СЧ в топологии блока ракеты. Очевидно, что такие элементы как несущие топливные баки (окислителя и горючего), а также ряд отсеков РН делать заменяемыми нецелесообразно. Такие элементы, как правило, интегрируют в себе значительное число деталей всех систем РН. Сложным является отнесение крупногабаритных топливных магистралей подачи топлива, связывающих топливные баки и двигатели РН. В силу того, что в отечественном ракетостроении фактически отсутствует сколь-нибудь значимый опыт эксплуатации многоразовых средств выведения, остается открытым вопрос степени деградации элементов баковых отсеков и топливных магистралей при пусках РН.

Вопрос выбора рационального сочетания одноразовых, многоразовых (с малым ресурсом) и базовых СЧ МРБ должен решаться с учетом не только общей стоимости эксплуатации средства выведения, но и с позиции обеспечения требуемого уровня надежности. Так, например для поддержания того же уровня безаварийности космической программы в 1 аварию на 50 пусков вероятность безотказной работы РН с МРБ на первой ступени требуется повысить с 0,98 до 0,995 (для 10-кратного использования).

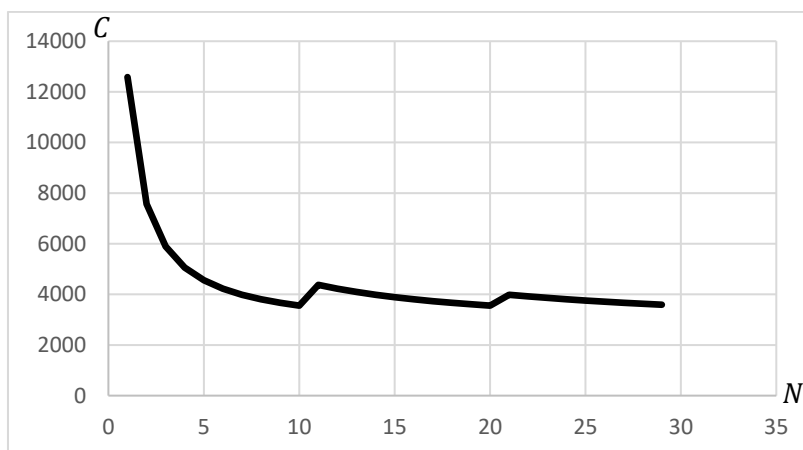


Рисунок 2 – Зависимость стоимости (долл.) выведения 1 кг полезной нагрузки на низкую околоземную орбиту от количества пусков РН с возвращаемой двигательной установкой (ДУ) 1 ступени и ограничении ресурса ДУ 10 пусками

Учитывая возрастание сложности многоразовых космических технологий «стоимость» достижения такого уровня надежности может стать недопустимо высокой. Так, например, по данным¹ стоимость средств обеспечения многоразовости (СОМ) для РН «Falcon-9» составляет более 50% от стоимости РН (рисунок 3)².

Этот фактор становится доминирующим при обосновании концепции построения перспективных многоразовых космических систем, к которым предъявляются такие требования как высокое конструктивное совершенство, кратность применения и безусловное выполнение требований по надежности, а также приемлемая стоимость изделия.

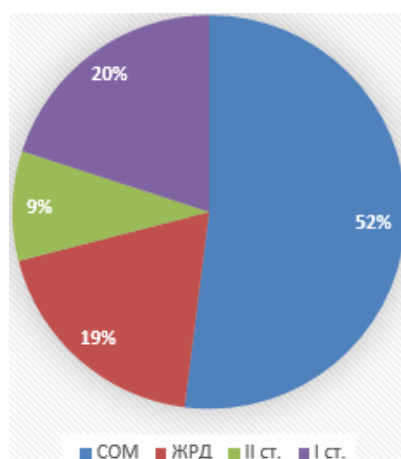


Рисунок 3 – Распределение стоимости между составными частями РН с МРБ (на примере РН «Falcon-9»): СОМ – средства обеспечения многоразовости; ЖРД – двигатели первой ступени (МРБ); I, II ст. – соответственно конструкция первой и второй ступени

¹ Wertz J.R. Economic Model of Reusable vs. Expendable Launch Vehicles // 51st International Astronautical Congress (IAF Congress). Rio de Janeiro, Brazil, 2000, 02-06 Oct. URL: <https://smad.com/wp-content/uploads/2000/10/iafpaper1.pdf>

² Stappert S., Wilken J., Calabuig G.J.D., Sippel M. Evaluation of Parametric Cost Estimation in the Preliminary Design Phase of Reusable Launch Vehicles // 9th European Conference for Aeronautics and Space Sciences (EUCASS). Lille, France, 2022, 27 Jun.-1 Jul. URL: <https://elib.dlr.de/187238/1/EUCASS2022-4838.pdf>

Учет современных тенденций в ракетостроении

Среди основных тенденций, способствующих обеспечению требуемого уровня надежности, можно отметить следующие:

- переход на топливную пару «кислород-метан», что не только снижает трудоемкость послепускового обслуживания, но и обеспечивает менее напряженный режим работы камеры жидкостного ракетного двигателя (ЖРД) [4];
- использование однотипных ЖРД как на первой (многоразовой) ступени, так и на второй (верхней) ступени с минимальными доработками;
- применение специальных средств (систем), снижающих динамические нагрузки на элементы конструкции МРБ на всех этапах полета.

В то же время для современного этапа создания РН с МРБ характерным является переход на ЖРД с дожиганием генераторного газа, что, с одной стороны, позволяет сократить габариты камер двигателей (сопел) и скомпоновать большое число агрегатов в поперечный размер блока, а с другой – существенно усложняет динамические характеристики РН в полете. Также высокие давления в камере повышают интенсивность расходования ресурса.

Отдельным сложным вопросом обеспечения требуемого уровня кратности использования РН с МРБ является выравнивание ресурса для наиболее нагруженных элементов из состава базовых СЧ. Учитывая, что уровни динамических нагрузок в полете, действующих на такие элементы как топливные баки и расходные магистрали существенно меняются по мере выработки топлива, вопрос обеспечения равномерного расходования заложенного в конструкцию ресурса является нетривиальным. Разгрузка элементов ракетных блоков, характеризующихся ускоренным накоплением повреждаемости в процессе полета (кривая 1 на рисунке 4), позволяет повысить кратность использования $N_{ц}$ при обеспечении требуемого уровня ВБР. Целевая задача обеспечения равномерности расходования ресурса базовых элементов ракетных блоков может быть определена как сокращение разрыва между кривыми, описывающими изменение ВБР «слабого» и «сильного» элементов (кривые 2 и 3 на рисунке 4).

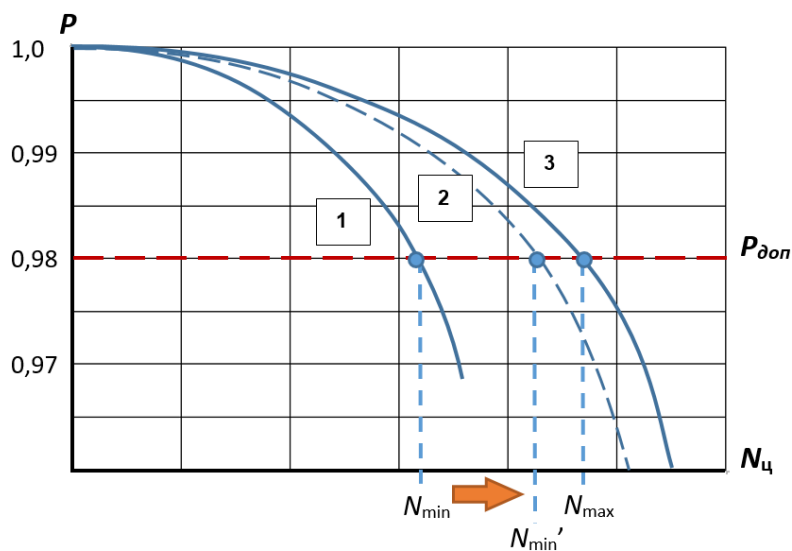


Рисунок 4 – Характер изменения ВБР при накоплении повреждений

Еще одним аспектом проблематики можно считать применение многорежимных двигателей с расширенным диапазоном регулирования тяги на основном режиме работы. Природа регуляторных автоколебаний в условиях сильно различающихся режимных

параметров на сегодняшний день изучена недостаточно подробно и полно. Это позволяет предположить, что частотные характеристики двигателей в полете могут заметно изменяться, уменьшив запас устойчивости РН в плане продольных автоколебаний. Примечательным здесь является то, что величина смещения фазы отклика по тяге двигателя на пульсации давления топлива сильно зависит именно от параметров регулятора расхода (регулятора тяги). Характер же самих пульсаций давления окислителя и горючего на входе в ЖРД во многом определяются первыми двумя, тремя формами собственных продольных колебаний корпуса в полете.

С другой стороны, названные аспекты входят в противоречие с требованиями по обеспечению надежности РН на этапе выведения полезного груза. Для обеспечения требуемого уровня надежности многоразовых средств выведения требуется решать задачи, связанные с накоплением повреждений в различных критичных элементах (камеры двигателей, элементы пневмогидравлической системы двигательной установки, высоконагруженные элементы конструкции). В частности, для баков требуется, с одной стороны, обеспечить контроль их состояния на межполётном интервале средствами неразрушающего контроля, а с другой – добиться управляемого снижения пиковых нагрузок на всех этапах полета.

Отдельным сложным вопросом обеспечения требуемого уровня кратности использования РН с МРБ является задача выравнивания ресурса для наиболее нагруженных элементов из состава базовых СЧ. Учитывая, что уровни динамических нагрузок в полете, действующих на такие элементы как топливные баки и расходные магистрали, существенно меняются по мере выработки топлива, вопрос обеспечения равномерного расходования заложенного в конструкцию ресурса является нетривиальным.

Так, например, для современных ракет-носителей в качестве проектных значений показателей надежности составных частей ракетного блока (ступени) различают:

- конструкцию (корпус): $P_{\text{кон}}(\tau_{\text{в}}) = 1,0$;
- двигательную установку: $P_{\text{ДУ}}(\tau_{\text{в}}) = 0,999$;
- маршевый двигатель: $P_{\text{ЖРД}}(\tau_{\text{в}}) = 0,995$;
- системы: $P_{\text{с}}(\tau_{\text{в}}) = 0,9999 - 0,999999$.

Таким образом, для многоразовых средств выведения при циклическом нагружении конструкции корпуса во время многократного использования вклад снижения надежности (вероятности $P_i(\tau_{\text{в}})$ сохранения работоспособного состояния) базовых элементов может стать значимым фактором достижения заданных показателей кратности использования N . Очевидно, что критичные значения $P_i(\tau_{\text{в}})$ для таких элементов как корпус составляют значения, соизмеримые с надежностью маршевого двигателя, т.е. на уровне 0,995.

Важно отметить также, что современный этап технологического перевооружения заводов-изготовителей при производстве ракетно-космической техники, в том числе с привлечением аддитивных технологий, сопряжен с некоторым отрицанием предыдущего опыта тонкой и кропотливой наладки технологических процессов. Это неминуемо приводит к снижению стабильности рабочих характеристик и параметров элементов РН в условиях мелкосерийного, а подчас и штучного производства. Сказываются также и частые доработки, внесения изменений в конструкцию. В этих условиях стабильность динамических характеристик ЖРД при производстве не обеспечивается, что является достаточно сложным фактором, корректно учесть действие которого на запас устойчивости по регуляторным автоколебаниям РН весьма затруднительно.

Указанные особенности современных и перспективных РН подчеркивают актуальность развития методологического аппарата, позволяющего обосновать требования к средствам адаптивного управления расходом ресурса. Такие средства должны обеспечить контролируемое нагружение критичных по надежности базовых элементов.

Пути снижения уровня продольной вибрации ракет-носителей, оснащённых двигателями с дожиганием

Анализ летных испытаний ряда современных РН с двигателями, выполненными по схеме с дожиганием генераторного газа, указывает на сложный характер изменения амплитуд продольных низкочастотных колебаний (в диапазоне 8...40 Гц) в полете [5]. Можно выделить отдельные этапы работы двигателя, на которых амплитуды продольной вибрации, соответствующей частотам первой и второй форм собственных продольных колебаний конструкции, имеют значительный разброс от пуска к пуску (рисунок 5). Примечательным является также наличие отдельных и кратковременных забросов интенсивности колебаний. Такие всплески амплитуды вибрационных нагрузок могут негативно повлиять на интенсивность расходования ресурса, заложенного в многоразовые ракетные блоки перспективных РН.

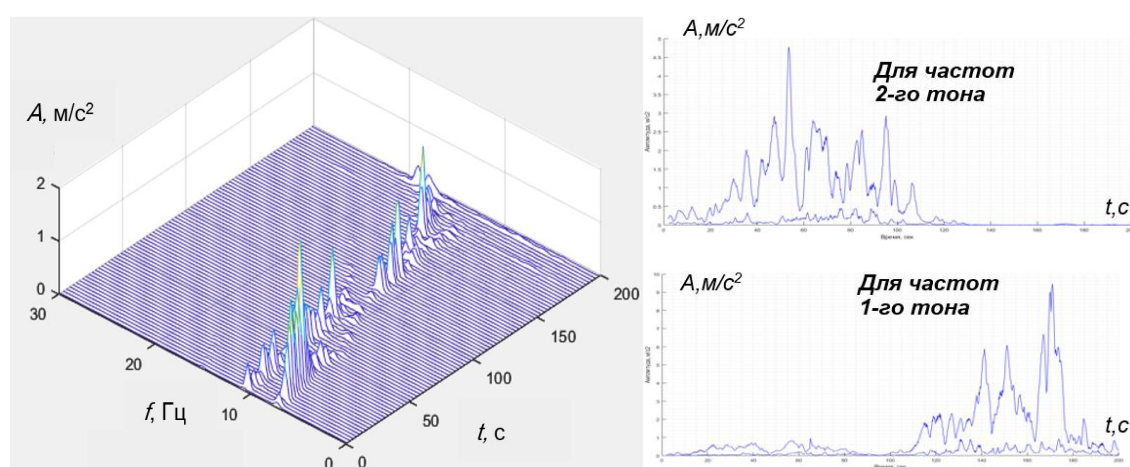


Рисунок 5 – Характер изменения амплитуды виброускорения на частотах первых двух форм продольных колебаний корпуса для двухступенчатой РН

Проведённый анализ летных испытаний ряда РН указывает на весьма сложный характер изменения амплитуд продольных низкочастотных колебаний (в диапазоне 8...40 Гц) в процессе полета. Анализ телеметрической информации позволяет выделить этапы работы двигателя, на которых амплитуды продольной вибрации, соответствующей частотам первой и второй форм собственных продольных колебаний конструкции для серии летных испытаний, имеет значительный разброс. Это указывает на значимое влияние некоторых факторов, не учитываемых в рамках существующей системы создания РН.

В качестве основных направлений решения указанных проблем можно выделить следующие:

- исследование влияния отдельных параметров корпуса РН и двигателей на их динамические характеристики и изменение запаса продольной устойчивости по регуляторным автоколебаниям во время полета;
- совершенствование научно-методического аппарата прогнозирования вибрационных характеристик РН в полете с учетом нестабильности производства;
- совершенствование бортовой системы измерений в части повышения точности определения амплитуд низкочастотных продольных колебаний корпуса РН, амплитуд низкочастотной пульсации давления в системе подачи топлива, а также смещения фазы отклика двигателя по тяге на пульсации давления в расходных магистралях;
- создание новой системы управления динамическими характеристиками ЖРД с целью обеспечения требуемого уровня запаса устойчивости к регуляторным автоколебаниям;

- совершенствование научно-методического аппарата контроля однородности выборки камер при производстве многокамерных ЖРД с целью обеспечения стабильности частотных характеристик в процессе полета.

Предполагается, что одним из направлений стабилизации колебаний корпуса РН может быть использование принципа фазовой стабилизации системы «упругий корпус-двигатель» за счет прогнозируемого и контролируемого изменения фазовой составляющей частотной характеристики.

Конструктивно это может быть реализовано путем использования специальной конструкции регулятора расхода с возможностью изменения его динамических характеристик без изменения режима работы самого двигателя.

Другим возможным направлением может стать расширение каналов управления режимными параметрами двигателя, в необходимой мере изменяющее вид его частотных характеристик.

Заключение

Проведенный анализ вариантов повышения кратности использования многоразовых РН показывает целесообразность перехода к концепции управления расходом ресурса МРБ за счет использования адаптивных средств. Подобная концепция предполагает способность РН не только обеспечить требуемую точность вывода КА на заданную орбиту или траекторию полета, но и обеспечить стабильно-низкие уровни вибрационного нагружения со стороны маршевого двигателя, что позволит повысить надежность элементов конструкции ракеты и ее систем, а также снизить вероятность повреждения чувствительных элементов полезного груза. Использование концепции управляемой динамической системы при построении ракеты-носителя даст возможность расширить диапазон проектных параметров, позволяя достичь в конечном итоге более высокого конструктивного совершенства.

Список источников

1. Викулов С.Ф. Военно-экономический анализ. М.: Воениздат, 2001. 350 с.
2. Оценка научно-технической и производственно-технологической реализуемости проектов на стадиях жизненного цикла сложных технических систем: монография / Под ред. С.Н. Остапенко. Тверь: ОПВЭИФ, 2015. 276 с.
3. Буренок В.М., Ляпунов В.М., Мудров В.И. Теория и практика планирования и управления развитием вооружения. 2-е изд., испр. и доп. М.: Граница, 2005. 519 с.
4. Галеев А.Г., Иванов В.Н., Катенин А.В., Лисейкин В.А., Пикалов В.П., Поляхов А.Д., Сайдов Г.Г., Шибанов А.А. Методология экспериментальной отработки ЖРД и ДУ, основы проведения испытаний и устройства испытательных стендов: монография. Киров: МЦНИП, 2015. 436 с.
5. Перфильев А.С., Султанов А.Э., Герасименко С.Ю. Условия возникновения высокоамплитудных низкочастотных колебаний корпуса ракеты-носителя, снижающих надежность агрегатов двигательных установок // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2018. №8. С. 56-64.

Информация об авторе

А.Э. Султанов – кандидат технических наук, доцент, SPIN 1710-4105.

Научная статья
УДК 623.76

Формирование навыков безопасной эксплуатации переносных зенитно-ракетных комплексов в процессе обучения на комплексном тренажере

Дмитрий Вячеславович Самойлов

Аннотация. В статье описывается разработанный автором метод интеграции формирования навыков безопасной эксплуатации переносных зенитно-ракетных комплексов в процесс обучения на комплексном тренажере. В этом состоит принципиальное отличие разработанного подхода от распространенной практики, когда правила эксплуатации переносных зенитно-ракетных комплексов изучаются в форме теоретической подготовки отдельно от практических занятий. Предложенное решение позволяет в ходе формирования навыков боевой работы обучать трем основным компонентам безопасной эксплуатации: безопасность стрелка и объекта прикрытия, безопасность переносных зенитно-ракетных комплексов и действиям в отказных ситуациях.

Ключевые слова: тренажер; переносной зенитный ракетный комплекс; безопасная эксплуатация; формирование навыков; отказные ситуации

Для цитирования: Самойлов Д.В. Формирование навыков безопасной эксплуатации переносных зенитно-ракетных комплексов в процессе обучения на комплексном тренажере // Вооружение и экономика. 2026. №3(77). С. 69-74.

Original article

Development of the Safe Operation Skills of Man Portable Air Defense System in the Course of Complex Simulator Training

Dmitrii V. Samoilov

Abstract. The article describes a method developed by the author for integrating the acquisition of safe operating skills for man-portable surface-to-air missile systems into the training process using a comprehensive simulator. This constitutes a fundamental difference between the proposed approach and the common practice in which the operating procedures for man-portable surface-to-air missile systems are studied as part of theoretical training separately from practical exercises. The proposed solution makes it possible to teach, while developing combat-operation skills, the three main components of safe operation: the safety of the operator and the protected facility, the safety of the man-portable surface-to-air missile systems, and the procedures to be followed in failure situations.

Keywords: simulator; portable anti-aircraft missile system; safe operation; skill development; failure situations

For citation: Samoilov D.V. Development of the Safe Operation Skills of Man Portable Air Defense System in the Course of Complex Simulator Training. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2026; 77(3): 69-74. (In Russ.).

Роль переносных зенитно-ракетных комплексов (ПЗРК) в настоящее время существенно выросла, что обусловлено, в первую очередь, бурным ростом количества комплексов с беспилотными летательными аппаратами различного типа и назначения, используемых в диапазоне от предельно малых до средних высот полета при решении боевых задач. Особенностью ПЗРК является то, что задачи обнаружения, распознавания целей, выполнение операций прицеливания, подготовки к пуску и пуску управляемой ракеты выполняет оператор. Нагрузка на оператора постоянно растет, что обусловлено появлением малозаметных, малозумных, малоразмерных целей, огромным разнообразием условий применения ПЗРК: круглосуточность, всепогодность, действия в городской застройке или на пересеченной местности, пуски с движущихся платформ (корабль, БТР и т.п.). При этом все операции по подготовке ракеты к пуску оператору необходимо выполнить без ошибок в соответствии с заданной циклограммой в ограниченное время.

Формирование у операторов ПЗРК необходимых навыков и умений ведения боевой работы, а также поддержание их на высоком уровне невозможно без использования различных учебно-тренировочных средств, в первую очередь комплексных тренажеров. А для создания таких тренажеров, в свою очередь, требуется методика их разработки [1].

Согласно разработанной методике, разработку тренажера, как и любой другой сложной технической системы, необходимо начать с определения круга задач, для решения которых он создается.

Цели и задачи боевой подготовки подразделений, вооруженных ЗРК ближнего действия, в Вооруженных Силах РФ определены соответствующей программой, утвержденной главнокомандующим Сухопутными войсками (далее – программа).

Согласно программе необходимо добиться устойчивых навыков в выполнении боевых задач по отражению ударов воздушного противника в сложной и резко меняющейся обстановке, на различной местности, днем и ночью во всех видах боевых действий.

Основным средством для достижения данной цели является тренажерная подготовка стрелков-зенитчиков. Исходя из этого, задачи, для решения которых создается тренажер, необходимо сформулировать в виде совокупности навыков и умений, которые планируется формировать и отрабатывать с его помощью.

Поскольку решение задач подготовки стрелков-зенитчиков обеспечивается совместным функционированием учебной информационной модели тренажера и его дидактической подсистемы, то целесообразно не просто перечислить данные задачи, но и упорядочить их с учетом тематики, сложности и последовательности освоения учебного материала. Это необходимо для реализации дидактического принципа системности и последовательности¹, а также управления процессом обучения и оценки его результатов².

На основе программы, соответствующих директивных и методических документов, а также данных, полученных от специалистов в области обучения стрелков-зенитчиков, должна быть построена таксономия задач тренажерной подготовки.

Для формирования такой иерархической классификации разработан подход, основанный на выделении двух базовых категорий:

1. задачи обучения боевому применению ЗРК;
2. задачи, обусловленные необходимостью соблюдения требований безопасности при эксплуатации ЗРК.

Задачи обучения боевому применению ЗРК, в свою очередь, разделяются на базовые навыки и умения применять их в особых условиях, которые обусловлены воздушной, метеорологической, помеховой и фоновой обстановкой, особенностями местности, а также видом боевых действий (в обороне, в наступлении, на марше и т.п.).

В соответствии с принципом военной дидактики о прочности в обучении³ комплексные умения формируются на базе освоенных базовых навыков.

Пример таксономии задач тренажерной подготовки для ПЗРК, сформированной при создании тренажера для подготовки операторов ПЗРК «Игла», «Игла-С», «Верба» (далее – тренажер) приведен на рисунке 1.

Необходимо отметить, что ряд таксонов допускает дальнейшее разделение. Так, например, группа задач по освоению стрельбы с движущейся платформы включает в себя подзадачи стрельбы с движущейся колесной/гусеничной техники и с корабля.

Критически важно, чтобы обучение безопасной эксплуатации ПЗРК было интегрировано в процесс формирования навыков и умений его боевого применения. В этом состоит одно из принципиальных отличий разработанного подхода от распространенного подхода, когда правила эксплуатации ПЗРК изучаются в форме теоретической подготовки отдельно от практических занятий.

Психологические исследования деятельности операторов, действующих в условиях стресса в резкоменяющейся обстановке, в частности пилотов, показывают, что человек находящийся в состоянии так называемой доминанты, т.е. суперсосредоточенности

¹ Военная педагогика: учебник / Под общ. ред. И.А. Алехина. М.: Юрайт, 2018. 414 с.; Военная педагогика: учебник / Под ред. О.Ю. Ефремова. СПб.: Питер, 2014. 638 с.

² Самойлов Д.В. Многофакторный расчетно-имитационный метод оценки сложности учебных упражнений, выполняемых на тренажере зенитного ракетного комплекса ближнего действия // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2024. №1(131). С. 85-89.

³ Там же.

сознания на определенной задаче, может не воспринимать другую информацию [2]. В частности, пилот может не видеть и не слышать даже аварийную сигнализацию [3; 4]. Таким образом, нельзя гарантировать, что стрелок-зенитчик, поглощенный прицеливанием по маневрирующей скоростной воздушной цели, сможет при этом адекватно оценить, не нарушает ли он в процессе подготовки к пуску правила эксплуатации ЗРК.

Так, например, одним из важнейших условий безопасной стрельбы из ПЗРК является запрет на превышение угла возвышения пускового контейнера свыше допустимого значения, зависящего от положения стрелка при пуске (стоя или на колене). Это ограничение обусловлено тем, что при больших углах струя стартового двигателя может обжечь ноги стрелка-зенитчика⁴. Пуски с углом возвышения менее определенного правилами эксплуатации также запрещены, поскольку ракета, потеряв высоту, может задеть местный предмет (боевую технику). Ни один из современных ПЗРК не оснащен какими-либо индикаторами угла наклона пускового контейнера, либо системами блокировки пуска или предупреждающей сигнализации, срабатывающими при достижении предельных значения данного угла.

Примером еще одного критически важного правила эксплуатации является запрет на пуск ракет, если угол между направлениями на цель и солнце менее допустимого. Его нарушение приведет к сбою в работе оптической головки самонаведения (ОГС) зенитной ракеты или даже выходу ее из строя. Система автоматического контроля данного угла отсутствует не только в ПЗРК, но и во всех современных и разрабатываемых комплексах ПВО ближнего действия, оснащенных аналогичными ракетами (БМ «Лучник-Э», БМО «Гибка-С»).



Рисунок 1 – Таксономия задач тренажерной подготовки операторов ПЗРК

⁴ Кашин В.М., Лифиц А.Л., Ефремов М.И. Основы проектирования переносных зенитных ракетных комплексов: учеб. пособие. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 227 с.

Дополнительные ограничения могут быть продиктованы особыми условиями применения. Так, например, стрельба из ПЗРК с движущейся железнодорожной платформы может вестись, если скорость движения поезда не превышает закрепленного правилами эксплуатации значения. При этом необходимо учитывать возможное наличие контактной сети и электрических опор. В целях соблюдения мер безопасности запрещается стрельба в определенном секторе в обе стороны от продольной оси поезда.

Очевидно, что если соблюдение правил безопасной эксплуатации ЗРК не стало частью сформированного и отработанного до автоматизма навыка боевого применения, то стрелок-зенитчик с большой долей вероятности нарушит их в ходе решения реальной боевой задачи.

В соответствии с предложенным подходом необходимо выделить основные задачи соблюдения правил эксплуатации в привязке к этапам непосредственной подготовки стрельбы. Диаграмма, иллюстрирующая структуру данных задач, разработанную для ПЗРК в ходе создания тренажера, показана на рисунке 2. В качестве вертикальной оси используется перечень задач безопасной эксплуатации, а в качестве горизонтальной оси – ось времени в форме последовательно выполняемых этапов боевой работы с ПЗРК.

Непосредственная подготовка стрельбы	Поиск, обнаружение, опознавание	Изготовка к стрельбе	Принятие решения на обстрел	Включение НИП	Выбор режима работы	Прицеливание и захват	Пуск ЗУР
Контроль ориентации БС ПЗРК	Угол на Солнце $\geq \alpha_1$				Угол на Солнце $\geq \alpha_2$		Угол на Солнце $\geq \alpha_3$
Контроль работоспособности БС ПЗРК				НИП сработал?			Ракета сошла?
Безопасность применения							Цель в разрешенном секторе?
							Угол возвышения пусковой трубы

Рисунок 2 – Структура задач соблюдения правил эксплуатации ПЗРК в ходе непосредственной подготовки стрельбы

Каждый из этапов непосредственной подготовки стрельбы должен быть проанализирован в целях выделения основных действий, которые необходимо выполнить стрелку-зенитчику, и задач, которые ему требуется решить. Эти элементы затем следует объединить в алгоритм, отражающий их последовательность и обусловленность, и реализовать его в тренажере.

Факт срабатывания наземного источника питания (НИП) определяется стрелком-зенитчиком первоначально по усилию, которое необходимо приложить для поворота рычага накола НИП (при неисправном НИП данное усилие невелико), а затем по звукам, сопровождающим его включение:

- по шипению хладагента, поступающего по газоподводящей трубке в микрохолодильник фотоприемника ОГС;
- по звуку раскручивающегося ротора гироскопа ОГС и стуку золотникового механизма рулевой машинки ракеты.

В случае если установлено, что НИП неисправен, стрелок должен заменить его запасным (который находится в подсумке).

Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что на этапе включения НИП стрелок зенитчик применяет целый комплекс взаимосвязанных компонент деятельности. Среди них можно выделить:

- перцептивные;
- аттенционные;
- когнитивные;
- моторные.

Перцептивные компоненты обусловлены необходимостью визуального определения типа цели, ее скорости и высоты полета, дальности до неё и т.п. Кроме того, стрелок должен оценить усилие, которое он прикладывает для поворота рычага накола НИП, услышать шипение хладагента и звуки работы аппаратуры ракеты.

Аттенционные компоненты деятельности связаны с перцептивными и обусловлены необходимостью целенаправленного восприятия профессионально значимой информации. К этому типу деятельности относятся:

распределение внимания на ряде существенных элементов боевой ситуации (положение цели, положение солнца, состояние ЗРК и т.п.);

сохранение состояния бдительности и быстрая реакция на возможные появления сравнительно редких сигналов;

переключение внимания с одного объекта на другой с требуемой скоростью и в необходимой последовательности (например, переход с одной цели на другую).

Когнитивные компоненты деятельности связаны с оценкой стрелком фоно-целевой обстановки, прогнозом ее изменения и планированием действий. Характерным примером является определение момента задействия НИП при стрельбе вдогон.

Моторные компоненты деятельности стрелка включают:

- Рабочие движения: операции включения, выключения и переключения (манипуляции с органами управления ЗРК); сенсомоторное преследующее слежение – непрерывное решение задачи удержания движущейся цели на линии, проходящей через центры отверстий передней и задней стоек прицела.

- Приспособительные движения, состоящие из установочных, уравнивающих и других движений, обусловленных правильным удержанием ПЗРК на плече.

Чтобы обеспечить формирование необходимого комплексного навыка требуется наделить дидактическую систему тренажера соответствующими возможностями. Так, например, для выработки у стрелка-зенитчика бессознательного контроля углов направления пускового контейнера нужно обеспечить их непрерывный объективный контроль в ходе выполнения всех учебных упражнений. Кроме того, информационная модель тренажера должна формировать у обучаемого представление о положении Солнца на небосводе, в качестве одного из элементов помеховой обстановки.

В ходе всей боевой работы (и этапа включения НИП в частности) стрелок-зенитчик должен учитывать расположение солнца в силу совокупности причин. Во-первых, запрещается направлять ОГС ракеты непосредственно на солнце, поскольку это может повлечь за собой ее выход из строя. Во-вторых, нельзя производить пуск ракеты, если угол между направлениями на цель и солнце менее установленного, так как это приведет к сбою в работе ОГС. В-третьих, солнечный свет является причиной эффекта ослепления, затрудняющего или делающего полностью невозможным визуальный поиск и сопровождение воздушной цели, находящейся в одном секторе вместе с солнцем.

Таким образом, в информационной модели тренажера недостаточно просто отображать солнце на небосклоне и учитывать его положение при моделировании работы ОГС, необходимо воспроизвести слепящее действие, оказываемое солнцем на стрелка-зенитчика. С этой целью был разработан алгоритм, основанный на динамическом управлении яркостью и цветовой палитрой генерируемого изображения на основе оценки угла между линией визирования и направлением на солнце. Данный алгоритм основан на методике

расчета, рекомендуемой международной комиссией по освещению⁵ с учетом особенностей восприятия для угла наблюдения слепящего источника от 30 градусов и менее [5]. Алгоритм управляет яркостью и цветовой палитрой генерируемого изображения в зависимости от угла наблюдения солнца. Кроме того, дидактическая подсистема тренажера непрерывно контролирует, не достигнут ли предельный угол между солнцем и осью визирования ОГС, приводящий к сбою в её работе. Благодаря такому решению у стрелка в ходе выполнения учебных упражнений на тренажере вырабатывается навык бессознательного контроля ориентации пускового контейнера относительно солнца.

Таким образом, разработанный автором метод интеграции формирования навыков безопасной эксплуатации ПЗРК в процесс обучения на комплексном тренажере позволяет выработать комплексные навыки боевой работы, необходимые для эффективного применения ПЗРК в условиях современного противовоздушного боя.

Список источников

1. Самойлов Д.В. Междисциплинарная методика разработки тренажеров комплексов ПВО ближнего действия // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2024. №3(133). С.154-160.
2. Пономаренко В.А. Авиационная медицина – надежный защитник летного труда. 2-е изд. М.: Когито-Центр, 2017. 365 с.
3. Woods D.D., Dekker S., Cook R., Johannesen L., Sarter N. Behind Human Error. 2nd ed. Farnham, Surrey, England; Burlington, VT, USA: Ashgate Publishing, 2010. 292 p.
4. Peters G.A., Peters B.J. Human Error: Causes and Control. Boca Raton, FL: CRC Press, 2006. 232 p.
5. Schreuder D. Outdoor Lighting: Physics, Vision and Perception. Dordrecht: Springer, 2008. 448 p. doi:10.1007/978-1-4020-8602-1.

Информация об авторе

Д.В. Самойлов – кандидат технических наук.

⁵ Commission Internationale de l'Éclairage. CIE Technical Report 146:2002: CIE Equations for Disability Glare. Vienna: CIE, 2002. 14 p. URL: <https://cie.co.at/publications/cie-collection-glare-2002>

ВОЕННАЯ ЭКОНОМИКА

Научная статья
УДК 355/359.07

Методы военно-экономического анализа и их использование при решении задач оборонной направленности

Геннадий Алексеевич Лавринов, Наталия Денисовна Шапошникова

Аннотация. В статье представлена оценка военно-экономического анализа как самостоятельного научного направления военно-экономической науки, являющегося симбиозом трёх самостоятельных областей знания: военной, экономической и аналитической. Проведен интегрированный анализ преимуществ и недостатков существующих методов военно-экономического анализа, приведены примеры их использования при решении задач оборонной направленности. Показано, что большинство прикладных задач военно-экономического анализа предполагает поиск рационального баланса между несколькими частными показателями, что вынуждает обращаться к инструментарию многокритериальной оптимизации.

Ключевые слова: военно-экономический анализ; методы военно-экономического анализа; эффект; затраты; многокритериальная оптимизация

Для цитирования: Лавринов Г.А., Шапошникова Н.Д. Методы военно-экономического анализа и их использование при решении задач оборонной направленности // Вооружение и экономика. 2026. №3(77). С. 76-89.

Original article

Methods of Military-Economic Analysis and Their Usage for the Defense Tasks Solution

Gennadii A. Lavrinov, Nataliia D. Shaposhnikova

Abstract. The article evaluates military-economic analysis as an independent branch of military-economic science, representing a symbiosis of three distinct fields of knowledge: military, economic, and analytical. An integrated analysis of the advantages and disadvantages of existing military-economic analysis methods is presented, along with examples of their application to defense-related tasks. It is shown that most applied problems in military-economic analysis require finding a rational balance among several specific indicators, necessitating the use of multi-criteria optimization tools.

Keywords: military-economic analysis; methods of military-economic analysis; effect; costs; multi-criteria optimization

For citation: Lavrinov G.A., Shaposhnikova N.D. Methods of Military-Economic Analysis and Their Usage for the Defense Tasks Solution. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2026; 77(3): 76-89. (In Russ.).

Введение

В последние десятилетия реальным инструментом подготовки решений и рекомендаций по снижению затрат на оборонные мероприятия стал научный метод, именуемый военно-экономическим анализом [1].

Публикации военно-экономической направленности имеют давнюю историю. В России первые труды по проблемам военной экономики появились по меньшей мере в XIX веке. В конце XIX – начале XX вв. работы, посвященные изучению взаимосвязи войны и хозяйственной деятельности, стали выходить более активно. Однако формирование самостоятельных направлений военно-экономической науки началось лишь после Второй мировой войны. К ним прежде всего относятся: военная экономика, экономика вооружённых сил, финансы вооружённых сил и ряд других дисциплин. Как научное направление военно-экономический анализ сформировался в нашей стране в конце 1980-х гг. с выходом в свет первого фундаментального труда, посвященного военно-экономическому анализу, – учебника «Военно-экономический анализ и исследование операций» под авторством Г.П. Жукова и С.Ф. Викулова¹.

¹ Жуков Г.П., Викулов С.Ф. Военно-экономический анализ и исследование операций: учебник. М.: Воениздат, 1987. 440 с.

Как следует из наименования, военно-экономический анализ (ВЭА) представляет собой научное направление, являющееся симбиозом трёх самостоятельных областей знания: военной, экономической и аналитической. В своей сущностной основе военно-экономический анализ есть междисциплинарная теория и прикладная методология количественно-качественного обоснования военно-политических и военно-технических решений, принимаемых в условиях ограниченности бюджетных ассигнований и материальных ресурсов, выделяемых на нужды обороны и безопасности государства. Данная дефиниция требует детального раскрытия всех трех компонентов указанного симбиоза [1].

Во-первых, военная составляющая детерминирует целевую функцию и объектную область анализа. Она привносит в методологию специфическую систему критериев эффективности, отличную от рыночных категорий прибыли или рентабельности. В рамках ВЭА военная компонента оперирует такими категориями, как боевой потенциал, вероятность выполнения боевой задачи, время реакции системы вооружения, живучесть техники на поле боя и глубина наносимого противнику ущерба. Содержательно это означает, что экономическая логика минимизации издержек здесь строго субординирована логике максимизации вероятности стратегического сдерживания или победы в вооруженном конфликте. Военно-экономический анализ, следовательно, не может быть сведен к банальному бухгалтерскому учету расходования средств; он имплицитно включает в себя моделирование оперативно-тактической обстановки и прогнозирование развития форм и способов вооруженной борьбы.

Во-вторых, экономическая составляющая обеспечивает инструментарий оценки ресурсной базы и выявления альтернативных издержек. В отличие от классического военного искусства, которое часто абстрагируется от стоимостных ограничений, военно-экономический анализ интегрирует в процесс планирования такие фундаментальные экономические концепты, как ограниченность ресурсов, убывающая предельная полезность, дисконтирование денежных потоков и эффект масштаба. Именно экономическая компонента позволяет перевести потребности войск (потребное количество танков, самолетов, часов налета) в плоскость финансово-промышленной реализуемости. Она оперирует категориями стоимости жизненного цикла изделия, включая затраты на НИОКР, серийное производство, эксплуатацию, модернизацию и утилизацию, а также оценивает макроэкономические последствия отвлечения трудовых и материальных ресурсов из гражданского сектора хозяйства.

В-третьих, аналитическая составляющая представляет собой формально-логический и математический аппарат обработки информации, синтезирующий данные первых двух компонент. Это ядро метода, которое позволяет разрешать внутреннее противоречие между «безграничностью» военных потребностей и конечностью экономических возможностей. Аналитический инструментарий ВЭА включает в себя: методы многокритериальной оптимизации (в условиях конфликта критериев «затраты (C)-эффект(W)-время(T)»); элементы теории игр и исследования операций для моделирования конфликтного взаимодействия ресурсно-оснащенных сторон; эконометрические модели для прогнозирования динамики цен на продукцию оборонно-промышленного комплекса; а также методы экспертных оценок для формализации нечисловых показателей качества систем вооружения.

Реализация отмеченного научного направления осуществляется путем применения известных и специально разрабатываемых методов военно-экономического анализа в различных сферах деятельности военной организации. В научных публикациях суть указанных методов достаточно хорошо изложена, например в [1-5]. В работе [5] представлена таблица с указанием методов, используемых в военно-экономическом анализе. Однако в концентрированном виде, позволяющем провести сравнительный анализ их достоинств и недостатков, а также возможностей использования в военном деле, в них не представлено.

Далее в статье представлены результаты проведенного авторами интегрированного анализа методов военно-экономического анализа и примеры их использования при решении задач оборонной направленности.

Общенаучные методы

Системный анализ

Суть метода. Представляет собой совокупность методологических средств, используемых для подготовки и обоснования решений по сложным проблемам политического, военного и экономического характера. В его основе лежит представление объекта исследования (например, группировки войск или программы вооружения) в виде целостной иерархической структуры с множеством внутренних и внешних связей. Метод требует декомпозиции глобальной цели на подцели, выявления всех существенных факторов и построения обобщенной модели, отражающей взаимосвязь ресурсов и результатов.

Преимущества. Позволяет увидеть объект военно-экономического планирования целостно, в единстве боевых, тыловых и инфраструктурных составляющих, не допуская локальной экономии, которая оборачивается глобальными потерями боеспособности. Он также даёт возможность моделировать поведение сложных военных систем в динамике конфликта с учётом множества внешних и внутренних связей, которые при изолированном рассмотрении отдельных элементов просто ускользают от внимания аналитика.

Недостатки. Построение полной системной модели военной организации требует привлечения колоссальных массивов межведомственной информации и значительных вычислительных мощностей, что делает метод трудоёмким и дорогостоящим в реализации. Кроме того, конечные выводы системного анализа в значительной степени определяются субъективно заданными на начальном этапе политическими целями и критериями безопасности, что создаёт риск подгонки результатов под заранее желаемый ответ.

Пример. Обоснование Государственной программы вооружения. Системный анализ позволяет не просто ответить на вопрос сколько ударных средств необходимо, но учесть сколько и каких для них потребуется средств обеспечения, каким образом эти системы должны быть сбалансированы, какие технологии должны быть созданы и т.д.

Экономико-математическое моделирование

Суть метода. Это инструментарий, основанный на формализации экономических и боевых процессов с помощью математических уравнений, неравенств и логических соотношений. Модели позволяют в сжатой, абстрактной форме воспроизвести функционирование военно-экономической системы для проведения вычислительных экспериментов. В отличие от гражданской экономики, где модели часто направлены на прогноз спроса и предложения, в ВЭА модели носят нормативный или оптимизационный характер.

Преимущества. Обеспечивает строгую количественную определённость расчётов, позволяя быстро и с минимальными затратами проводить многовариантные вычислительные эксперименты по оценке последствий изменения бюджетных ограничений или тактико-технических требований. Метод вскрывает скрытые диспропорции и узкие места в производственных цепочках оборонно-промышленного комплекса, которые невозможно выявить эмпирическим путём или простым экспертным опросом.

Недостатки. Главная уязвимость моделирования кроется в неизбежном огрублении реальности и высокой чувствительности результатов к качеству исходных данных – например, ошибка в прогнозе базовой стоимости образца способна исказить итоговую оценку программы вооружения на порядок. К тому же любая модель статична по своей природе и плохо адаптируется к внезапным технологическим прорывам или радикальному изменению характера военных действий.

Пример. Расчет оптимального состава транспортных самолетов. Строится оптимизационная модель, где целевой функцией выступает минимизация затрат на закупку и эксплуатацию при ограничениях: обеспечить X самолето-вылетов в сутки в угрожаемый период и перевезти Y т грузов. Модель выдает, например, математически обоснованное соотношение количества тяжелых транспортников и легких.

Сравнений и аналогий

Суть методов. Это эмпирические методы, основанные на сопоставлении исследуемого объекта с эталоном или с подобными объектами, история развития и применения которых уже известна. Включает в себя компаративный анализ (сравнение с аналогами вероятного противника) и исторические аналогии (опыт прошлых войн). В условиях дефицита точной информации о перспективных образцах противника или о реальной боевой эффективности еще не воевавшей техники, метод аналогий остается часто единственно возможным способом обоснования требований.

Преимущества. Обладает высокой наглядностью и убедительностью для лиц, принимающих решения, поскольку опирается на конкретные исторические прецеденты или характеристики вооружений вероятного противника, а не на абстрактные математические формулы. Метод также ценен своей эвристической функцией, позволяя на основе изучения опыта прошлых и текущих войн избежать повторения чужих дорогостоящих ошибок в строительстве вооружённых сил.

Недостатки. Опасность метода заключается в высокой вероятности ложных аналогий, когда тактические и экономические уроки одного театра военных действий механически переносятся на принципиально иные географические и климатические условия. Кроме того, ориентация на существующие или прошлые образцы неизбежно создаёт информационное запаздывание, обрекая военную организацию на создание техники вчерашнего дня вместо систем, способных противостоять угрозам завтрашним.

Пример. Обоснование норм содержания неприкосновенного запаса горюче-смазочных материалов. Анализируя среднесуточный расход топлива танковой дивизией в наступательных операциях Великой Отечественной войны и корректируя эти данные на современные нормы расхода дизельных двигателей (коэффициент аналогии), рассчитывается эшелонирование запасов ГСМ, необходимое для проведения фронтовой операции.

Оценки экономической эффективности

Суть метода. Комплекс приемов, направленных на соизмерение полученного полезного эффекта (боевого, технического) с затратами ресурсов, обусловившими этот эффект. Включает такие показатели как «стоимость-эффективность», «срок окупаемости инвестиций в оборонку», «удельная стоимость поражения цели». Специфика заключается в том, что «эффект» измеряется не в рублях прибыли, а в сохраненных жизнях военнослужащих, снижении вероятности прорыва противовоздушной обороны (ПВО) или уменьшении времени реакции на угрозу.

Преимущества. Позволяет соизмерить затраченные ресурсы с полученным боевым или обеспечивающим эффектом и отсеять проекты с запредельной стоимостью при сомнительном приросте боевой мощи. Кроме того, расчёт экономической эффективности объективно стимулирует выбор технологий двойного назначения и унифицированных платформ, что ведёт к снижению стоимости владения вооружением за счёт эффекта масштаба при гражданском использовании.

Недостатки. Фундаментальная проблема применения метода в военной сфере состоит в принципиальной невозможности дать корректную финансовую оценку таким стратегическим нематериальным эффектам, как ядерное сдерживание или поддержание международного престижа государства. Более того, узкая ориентация на краткосрочную экономическую эффективность способна загнать военную организацию в ловушку ложной экономии, когда дешёвое сегодня решение в перспективе порождает лавинообразный рост эксплуатационных расходов.

Пример. Выбор средства доставки высокоточного боеприпаса на дальность 500 км. Сравниваются: крылатая ракета воздушного базирования стоимостью 1 млн у.е. и оперативно-тактический комплекс стоимостью ракеты 3 млн у.е. (наземная ПУ). Анализ эффективности учитывает не только стоимость ракет, но и стоимость летного часа, уязвимость аэродромов и стоимость поддержания инфраструктуры пусковых установок.

Методы классической математики

Суть методов. Применение базового аппарата алгебры, геометрии, математического анализа, дифференциального и интегрального исчисления, а также статистических методов обработки массивов данных. Чаще всего это методы статистического анализа надежности и стоимости, теория массового обслуживания для расчета пропускной способности складов и ремонтных органов, линейное программирование для раскрытия материалов или оптимизации маршрутов подвоза.

Преимущества. Обеспечивают высокую степень объективности и доказательности расчётов в тех задачах военно-экономического анализа, где накоплен достаточный объём эмпирических данных о надёжности техники, расходе ресурсов или интенсивности отказов. Эта группа методов легко поддаётся алгоритмизации и внедрению в автоматизированные системы управления, позволяя офицерам быстро и точно рассчитывать потребности в горючем, боеприпасах и запасных частях без привлечения узких специалистов-аналитиков.

Недостатки. Для получения статистически достоверных выводов требуются большие выборки данных, накопление которых в отношении новейших образцов вооружения занимает годы, а в условиях боевых действий – затруднено или вовсе невозможно. Также классический математический аппарат оказывается бессилён при прогнозировании редких катастрофических событий и неспособен формализовать влияние человеческого фактора, который в военном деле часто перечёркивает самые изящные экономические выкладки.

Пример. Расчет необходимого объема закупки запасных частей. Используя законы распределения отказов и зная планируемую интенсивность эксплуатации парка бронетранспортеров, с помощью теории вероятности рассчитывается такое количество двигателей и коробок передач в запасе, чтобы вероятность простоя машины из-за отсутствия агрегата не превышала 5%. Это позволяет избежать как «омертвления» средств в избыточных запасах, так и срыва боевой готовности.

Оценки надежности сложных систем

Суть метода. Научное направление, изучающее закономерности сохранения работоспособности технических устройств и человеко-машинных комплексов во времени в условиях воздействия дестабилизирующих факторов (огонь противника, климат, ошибки оператора).

Преимущества. Методы теории надёжности дают возможность заблаговременно, ещё на этапе эскизного проектирования, спрогнозировать полную стоимость жизненного цикла образца военной техники, включая затраты на многолетнюю эксплуатацию, ремонт и утилизацию, что принципиально важно для долгосрочного бюджетного планирования. Кроме того, расчёт надёжности позволяет экономически обоснованно решить дилемму выбора между дорогостоящим высоконадёжным узлом и его дублированием с помощью более дешёвых, но менее стойких элементов.

Недостатки. Показатели надёжности, полученные в «стерильных» полигонных условиях или при стендовых испытаниях, как правило, имеют мало общего с реальной живучестью техники на поле боя, где она подвергается не только естественному износу, но и целенаправленному огневому воздействию противника. Моделирование же боевых повреждений сопряжено с чрезвычайно высокой степенью неопределённости, поскольку интенсивность и характер этих повреждений целиком зависят от непредсказуемых тактических решений противоборствующей стороны.

Пример. Сравнение двух концепций бронирования перспективной боевой машины пехоты. Метод оценки надежности (живучести) применительно к экономике выглядит так: рассчитывается вероятность поражения машины при обстреле из определенного типа вооружения. Далее рассчитывается стоимость потери машины и стоимость обучения экипажа. Сравнивается прирост стоимости более тяжелой брони с математическим ожиданием сохраненных от уничтожения машин и жизней экипажа за период прогнозируемого конфликта. Результат дает экономически обоснованный уровень защиты.

Прикладные статистические методы

Прикладной статистический анализ в экономике

Суть метода. Прикладной статистический анализ представляет собой совокупность методов сбора, систематизации, обработки и интерпретации массивов количественных данных, характеризующих массовые явления в экономике. Его ядро составляет описательная статистика, выборочное наблюдение, проверка статистических гипотез и дисперсионный анализ. В отличие от чисто математических абстракций, этот метод всегда отталкивается от эмпирического материала – массивов цифр о затратах, ценах, выработке и потерях.

Преимущества. Прикладной статистический анализ придаёт военно-экономическим расчётам необходимую фактологическую доказательность, заменяя интуитивные представления о «средней стоимости» или «нормальной убыли» строгими точечными и интервальными оценками, рассчитанными по репрезентативным выборкам. Метод также позволяет выявить аномалии и выбросы в финансовых и материальных потоках, что в военной среде часто сигнализирует о нецелевом расходовании средств или скрытом браке продукции.

Недостатки. Главное ограничение прикладной статистики в военной сфере – хронический дефицит репрезентативных данных в силу закрытости информации о реальных расходах, потерях и состоянии техники, а также уникальности многих военных программ, не образующих статистически значимой совокупности однотипных объектов. Кроме того, даже формально корректные статистические выводы могут быть содержательно ложными, если аналитик не осведомлён о скрытых структурных сдвигах (например, резкое изменение методики учёта затрат в бухгалтерии Минобороны, не отражённое в прежних рядах данных).

Пример. Анализ исполнения государственного оборонного заказа по ремонту авиационной техники. Собирается статистика по сотням заключённых контрактов за 5-7 лет: стоимость нормо-часа, трудоёмкость замены типового агрегата, частота дополнительных работ. Прикладной статистический анализ позволяет рассчитать обоснованный норматив удорожания ремонта и выявить заводы, чьи цены систематически отклоняются от среднеотраслевой медианы на статистически значимую величину, что даёт основание для более глубокой аудиторской проверки.

Анализ корреляций и регрессий в экономике

Суть метода. Корреляционно-регрессионный анализ – это инструментарий количественной оценки тесноты, направления и формы взаимосвязи между экономическими переменными. Если корреляция устанавливает сам факт и силу статистической связи (например, между ростом финансирования НИОКР и улучшением тактико-технических характеристик), то регрессия позволяет построить математическую функцию, предсказывающую значение зависимой переменной по значениям независимых факторов. Регрессионные модели лежат в основе параметрических методов ценообразования на продукцию ОПК, когда цена образца прогнозируется не калькуляционным методом, а через уравнение регрессии, где в качестве факторов выступают его масса, скорость, дальность и иные ключевые параметры.

Преимущества. Корреляционно-регрессионный анализ даёт в руки военного экономиста инструмент прогнозирования затрат по косвенным признакам, что особенно важно на ранних этапах проектирования вооружений, когда ещё нет детальной сметы, но уже известны требуемые тактико-технические характеристики. Метод также позволяет отделить мнимые связи от реальных и избежать управленческих ошибок, вызванных ложной корреляцией (например, одновременный рост расходов на боевую подготовку и числа происшествий может вовсе не означать, что первое является причиной второго).

Недостатки. Применение регрессионных моделей в военной экономике жёстко ограничено требованием к объёму выборки – для построения надёжной многофакторной модели необходимо число наблюдений, многократно превышающее число факторов, что невыполнимо для уникальных или мелкосерийных систем вооружения. Ещё более серьёзную опасность представляет соблазн экстраполяции регрессионных зависимостей за пределы области наблюдений, когда, например, модель стоимости, построенная по данным о

лёгких беспилотных летательных аппаратах (БПЛА), безосновательно используется для прогноза цены тяжёлого стратегического беспилотника.

Пример. Параметрическая оценка стоимости перспективного надводного корабля. На основе исторических данных по 15-20 построенным кораблям различных проектов строится регрессионное уравнение, где зависимой переменной является полная стоимость постройки головного корабля (в сопоставимых ценах), а факторами – водоизмещение, скорость хода, номенклатура вооружения и количество точек базирования вертолётов. Полученная модель позволяет, задав тактико-технические требования к будущему фрегату, получить предварительную оценку бюджета на его создание с доверительным интервалом.

Прогнозирование в военной экономике

Суть метода. Прогнозирование – это система научно обоснованных представлений о возможных состояниях военно-экономической системы в будущем и альтернативных траекториях её развития. Отличительная черта именно военно-экономического прогноза – работа с горизонтами планирования в 15-30 и более лет, что сопоставимо с полным жизненным циклом поколения вооружений. Главная задача прогноза – снизить неопределённость при стратегическом планировании. В отличие от гражданской сферы, где ошибка в прогнозе карается убытками компании, ошибка в военно-экономическом прогнозе карается стратегической уязвимостью государства через 20 лет. Прогнозирование здесь охватывает три сопряжённых контура: макроэкономический (каким будет ВВП, демография, структура бюджета), научно-технологический (какие прорывы в физике и материаловедении изменят облик оружия) и оперативно-стратегический (каким будет характер будущих войн и требуемый расход ресурсов в них).

Преимущества. Военно-экономическое прогнозирование зачастую является одним из основных инструментов, позволяющим государству проводить осмысленную долгосрочную оборонную политику, заблаговременно резервируя ресурсы под создание техники следующего поколения или, напротив, сворачивая программы, чья тупиковость видна только с перспективы десятилетий. Метод также позволяет проигрывать альтернативные сценарии развития мировой экономической и геополитической конъюнктуры и оценивать устойчивость оборонных программ к реализации каждого из этих сценариев.

Недостатки. Коренной порок любого долгосрочного прогноза состоит в накоплении ошибок за горизонтом в 5-7 лет, когда на динамику начинают влиять факторы, о самом существовании которых в момент прогноза не было известно, – от внезапного появления гиперзвуковых технологий до неожиданного распада или консолидации военно-политических союзов. В военно-экономической области эта проблема усугубляется тем, что сам прогноз, будучи обнародован, влияет на поведение вероятного противника, который намеренно предпринимает действия для его опровержения, – классический парадокс рефлексивности в гонке вооружений.

Пример. Обоснование ракетостроительной программы на период 20 лет. Строится прогноз макроэкономической динамики (темпы роста ВВП, предполагающие величину оборонного бюджета), прогноз развития средств противоракетной обороны вероятного противника (ожидаемые рубежи перехвата через 10 и 20 лет) и прогноз стоимости ключевых материалов. Совмещение этих прогнозных линий позволяет определить момент времени, когда существующие стратегические ракеты станут статистически неспособны преодолевать противоракетную оборону (ПРО), и тем самым задать предельный срок завершения ОКР по новому ракетному комплексу с принципиально иными характеристиками траектории.

Методы исследования военно-экономических операций

Математическое программирование в военном деле

Суть метода. В военно-экономическом анализе математическое программирование служит основным инструментом решения распределительных задач. Его объектами выступают: распределение лимита бюджетных средств между конкурирующими программами

вооружения, оптимизация состава смешанной группировки войск с учётом стоимостных и боевых параметров каждой единицы техники, минимизация транспортных расходов при стратегическом развёртывании. Особенностью применения является то, что целевые функции редко выражаются в деньгах – чаще это максимизация суммарного боевого потенциала при фиксированном бюджете или минимизация времени реакции системы.

Преимущества. Математическое программирование даёт строго оптимальное решение в ситуациях, где интуиция и эмпирический опыт бессильны из-за многомерности задачи и сложного переплетения ресурсных ограничений, позволяя находить глобальный экстремум, а не просто один из удовлетворительных вариантов. Метод также предоставляет ценную двойственную информацию – так называемые теневые цены ресурсов, которые показывают, насколько увеличится значение целевой функции при ослаблении того или иного ограничения, и тем самым указывают командованию на самые «узкие места» в системе материально-технического обеспечения.

Недостатки. Ключевая слабость метода – жёсткое требование к линейности либо иному строго определённом виду функций в модели, тогда как реальные военно-экономические зависимости почти всегда нелинейны, дискретны или имеют разрывы (например, стоимость доставки груза не растёт прямо пропорционально расстоянию, а эффективность ПВО не удваивается при удвоении числа комплексов). Кроме того, для задач реальной размерности, например целочисленного программирования при оптимизации структуры вооружённых сил, время поиска точного решения может выходить за разумные временные пределы даже при использовании мощных вычислительных кластеров.

Пример. Оптимизация закупки средств разведки и поражения в рамках заданного бюджета. Формулируется задача целочисленного программирования, где переменными выступают количества закупаемых разведывательных БПЛА, барражирующих боеприпасов и корректируемых артиллерийских снарядов. Целевая функция – максимизация площади территории, за которой устанавливается устойчивое наблюдение с гарантированным временем реакции на цель. Ограничения включают не только общий бюджет, но и лимиты по пропускной способности каналов связи, а также по численности личного состава, способного одновременно обслуживать данные системы.

Метод принятия решений в условиях неопределенности (теория игр)

Суть метода. Теория игр представляет собой математический аппарат анализа стратегического взаимодействия двух или более сторон, каждая из которых стремится максимизировать собственный выигрыш, причём результат для каждой стороны зависит не только от её действий, но и от действий оппонента. Военно-экономический анализ заимствует из теории игр формальный язык для описания конфликтного распределения оборонных бюджетов и поиска стратегически устойчивых решений. В отличие от оптимизационных методов, где среда считается пассивной, теория игр прямо моделирует тот факт, что вероятный противник, наблюдая военно-экономические решения нашего государства, будет целенаправленно искать им асимметричное и недорогое противодействие. Это позволяет оценивать военно-экономические программы не изолированно, а в рефлексивном контуре «действие – осведомлённое противодействие».

Преимущества. Теория игр принципиально меняет парадигму военно-экономического анализа, переводя его из плоскости планирования против пассивной среды в плоскость противоборства двух активных экономик и разведок, что особенно важно при обосновании расходов на стратегическое сдерживание и противодействие системам ПРО. Метод позволяет выявлять равновесные стратегии распределения бюджета, при которых ни одна из сторон не может улучшить своё положение в одностороннем порядке, – тем самым он указывает на экономически стабильные уровни военных расходов, выход за пределы которых либо разорителен, либо провоцирует виток гонки вооружений.

Недостатки. Фундаментальный изъян метода применительно к военной экономике состоит в том, что реальный противник далеко не всегда рационален в том смысле, который вкладывает в это слово классическая теория игр, – его решения могут диктоваться

внутриполитическими амбициями, идеологией или банальной нехваткой информации, что полностью разрушает равновесные построения. Кроме того, для игр с большим числом стратегий и участников построение платёжных матриц и нахождение решений становится вычислительно нетривиальной задачей, а сам результат часто оказывается чрезвычайно чувствителен к тому, как именно аналитик количественно оценил «платёж» – выигрыш или проигрыш стороны в условных единицах полезности.

Пример. Анализ дилеммы распределения средств между наступательными вооружениями и стратегической ПРО в двустороннем противостоянии. Строится игровая модель, где сторона А распределяет бюджет между межконтинентальными ракетами и ложными целями для преодоления обороны, а сторона Б – между противоракетами и радарам. Решение игры в смешанных стратегиях показывает, какая доля бюджета сторон должна идти на средства прорыва, а какая – на средства перехвата, чтобы ни одна из сторон не могла получить решающего преимущества, меняя свою программу. Такой расчёт напрямую используется при обосновании пропорций финансирования ядерной триады и воздушно-космической обороны.

Методы теории массового обслуживания (теория очередей)

Суть методов. Теория массового обслуживания – это раздел прикладной математики, изучающий системы, в которые в случайные моменты времени поступают заявки на обслуживание, причём длительность самого обслуживания также является случайной величиной. Основные аналитические характеристики метода – интенсивность входящего потока заявок, пропускная способность каналов обслуживания, средняя длина очереди, время ожидания и вероятность отказа в обслуживании при переполнении накопителя. Аппарат опирается на теорию случайных процессов, марковские цепи и распределения Пуассона и Эрланга.

Преимущества. Теория массового обслуживания даёт количественную основу для разрешения извечного конфликта между желанием сэкономить на тыловых подразделениях и необходимостью минимизировать время вывода техники из боя, позволяя рассчитать экономически обоснованное число ремонтных бригад, заправщиков или эвакуационных средств. Метод также позволяет моделировать пиковые нагрузки на логистическую систему, характерные для начального периода конфликта, и проверять, не «захлебнётся» ли система снабжения при интенсивности боевых действий, превышающей среднерасчётную.

Недостатки. Классическая теория очередей базируется на предположении о пуассоновском или ином математически удобном характере входящего потока, тогда как реальный поток боевых повреждений и заявок на подвоз имущества в бою носит нестационарный, залповый и плохо предсказуемый характер, обусловленный тактическими решениями противника. Кроме того, метод плохо учитывает приоритетность заявок – в военном деле ремонт танка командира батальона не может стоять в общей очереди на равных правах с остальными, а встроить гибкую систему приоритетов в аналитическую модель оказывается крайне сложно.

Пример. Обоснование штатной численности ремонтно-восстановительного батальона мотострелковой дивизии. Входящим потоком заявок служат выходящие из строя по техническим причинам и от боевых повреждений образцы вооружения, каналами обслуживания – ремонтные взводы и мастерские. Модель рассчитывает среднее время ожидания машиной ремонта и вероятность того, что очередь превысит критическое значение, при котором значительная часть техники застревает в ремонтном фонде на несколько суток. Задавая приемлемый норматив времени возврата техники в строй, метод определяет минимально необходимый штат ремонтников, при котором укомплектованность боевых подразделений исправной техникой не упадёт ниже порогового уровня.

Методы теории управления запасами ресурсов

Суть методов. Теория управления запасами – это научное направление, изучающее закономерности образования, расходования и пополнения складских резервов

материальных средств с целью минимизации суммарных издержек, связанных с содержанием запасов, с одной стороны, и потерями от их отсутствия (дефицита), с другой. В отличие от коммерческой логистики, где издержки дефицита измеряются упущенной прибылью, в военной экономике цена отсутствия запаса измеряется срывом выполнения боевой задачи и невозможными потерями личного состава. Поэтому теория управления запасами в ВЭА модифицируется в сторону приоритета критерия надёжности обеспечения над критерием минимизации затрат хранения. Объектами управления выступают запасы материальных средств всех уровней: от носимого боекомплекта солдата до стратегических резервов горючего и боеприпасов. Отдельное направление составляет управление запасами в условиях угрозы уничтожения складов высокоточным оружием противника.

Преимущества. Теория управления запасами позволяет, с одной стороны, избежать омертвления колоссальных бюджетных средств в избыточных складских резервах, а с другой – гарантировать, что войска не останутся без топлива и боеприпасов в критический момент операции, причём оба этих вывода делаются на строгой математической основе, а не на волюнтаристских распоряжениях. Метод также даёт инструментарий для расчёта эшелонирования запасов по глубине театра военных действий и вычисления необходимой степени их рассредоточения для снижения уязвимости от высокоточных ударов.

Недостатки. Основная трудность применения метода в военном деле связана с крайней нестационарностью расхода материальных средств: войска могут сутками практически не расходовать боеприпасы в позиционной обороне, а затем в течение нескольких часов наступления израсходовать запас, рассчитанный на неделю, причём момент перехода от одного режима к другому определяется противником и плохо предсказуем. Кроме того, формульные модели оптимального размера запаса плохо работают в условиях, когда время подвоза само является случайной величиной, зависящей от действий диверсионных групп, состояния дорог и погоды, что требует перехода к значительно более сложным стохастическим моделям с громоздким вычислительным аппаратом.

Пример. Расчёт эшелонирования запасов артиллерийских боеприпасов в наступательной операции армии. Исходными данными служат планируемый темп наступления, среднесуточный расход снарядов на орудие по опыту учений, расстояние подвоза от стационарных арсеналов и скорость движения транспортных колонн. Модель рассчитывает, сколько боекомплектов должно находиться непосредственно на огневых позициях, сколько в полковых складах, сколько на армейских базах и сколько на стратегических арсеналах, чтобы при допустимом уровне риска (вероятность истощения запаса не выше 5%) суммарные затраты на транспортировку, хранение и охрану были минимальны.

Специальные методы

Оценки показателей боевой эффективности

Суть метода. Оценка показателей боевой эффективности представляет собой совокупность расчётно-аналитических процедур, направленных на количественное определение степени приспособленности системы вооружения или воинского формирования к выполнению боевых задач в заданных условиях обстановки. Центральными категориями метода выступают вероятность поражения цели, математическое ожидание нанесённого противнику ущерба, время выполнения задачи, а также интегральные показатели типа «боевой потенциал», свёртывающие в единое число разнородные тактико-технические характеристики. В отличие от оценки экономической эффективности, здесь результат измеряется в натуральных, оперативно-тактических единицах, а не в стоимостных. Прежде чем ответить на вопрос «сколько стоит единица эффективности», необходимо формально определить, в чём именно эта эффективность выражается.

Преимущества. Метод переводит общие рассуждения о превосходстве того или иного образца вооружения в плоскость строгих математических ожиданий и вероятностей, позволяя корректно сравнивать даже системы разных типов – например, танк и

противотанковый ракетный комплекс – через их вклад в общий боевой потенциал соединения. Кроме того, полученные показатели боевой эффективности служат объективной основой для формулирования оперативно-тактических требований к перспективному вооружению, отсекая завышенные или дублирующие друг друга характеристики на самой ранней стадии эскизного проектирования.

Недостатки. Расчёт показателей боевой эффективности чрезвычайно чувствителен к исходным данным о характере боя, избранной модели противодействия противника и параметрам внешней среды, что на практике приводит к колоссальному разбросу результатов, полученных разными исследовательскими коллективами для одной и той же системы. Более того, стремление к излишней математизации боевого эффекта нередко порождает «формулы всего», в которые закладываются десятки коэффициентов, по сути назначенных экспертно, и интегральный показатель утрачивает физический смысл, оставаясь лишь удобной иллюзией научной обоснованности.

Пример. Сравнительная оценка боевой эффективности одноканального и многоканального зенитного ракетного комплекса (ЗРК) средней дальности при отражении массированного налёта. Строится модель дуэльного боя, в которой рассчитывается математическое ожидание числа уничтоженных средств воздушного нападения до момента израсходования боекомплекта или прорыва уцелевших ракетноносцев к охраняемому объекту. Полученный показатель – средняя доля сбитых целей – далее передаётся в экономический блок для сопоставления со стоимостью развёртывания и эксплуатации каждого из вариантов ЗРК.

Программно-целевого управления (ПЦУ)

Суть метода. Программно-целевое управление – это комплексная методология планирования и реализации крупномасштабных государственных программ, основанная на иерархической декомпозиции стратегической цели на систему тактических задач, под каждую из которых формируется набор мероприятий с чёткой привязкой к ответственности, срокам и ресурсному обеспечению. Его структурным ядром выступает «дерево целей», увязывающее потребный конечный результат (например, гарантированное стратегическое сдерживание через 15 лет) с конкретными опытно-конструкторскими работами, закупками и строительными проектами текущего бюджетного года.

Преимущества. Программно-целевое управление жёстко дисциплинирует бюджетный процесс, не позволяя ведомствам распылять средства на второстепенные или дублирующие друг друга проекты, и обеспечивает сквозной контроль от стратегического замысла до конкретного исполнителя. Метод также позволяет реализовать принцип сбалансированности военного строительства: если принята цель – создание полноценной арктической бригады, то программа синхронно предусматривает поставку не только вооружения, но и арктического обмундирования, специальных ГСМ, причальной инфраструктуры и средств эвакуации в условиях низких температур.

Недостатки. Слабость ПЦУ проявляется в его излишней жёсткости и инерционности – программа, рассчитанная на десять лет, неизбежно сталкивается с существенными изменениями военно-политической обстановки, технологическими прорывами и корректировкой бюджетных возможностей, однако механизмы оперативного пересмотра утверждённого «дерева целей» часто отсутствуют или забюрократизированы. Кроме того, попытки разложить каждую копейку по целям наталкиваются на методологическую проблему отнесения так называемых общих (инфраструктурных) затрат, которые обслуживают несколько программ одновременно и при некорректном разнесении искажают реальную стоимость достижения каждой цели.

Пример. Формирование программы переоснащения стратегических ядерных сил до 2040 года. Исходной точкой ПЦУ служит политически заданный показатель – гарантированное доведение до целей условного противника не менее X боевых блоков после отражения первого удара. Далее цель декомпозируется на подцели по компонентам триады (РВСН, морская, авиационная), под каждой из которых формируются мероприятия: ОКР по новой МБР, строительство серии подводных ракетноносцев, модернизация командных пунктов,

подготовка личного состава. Военно-экономический анализ на каждом этапе проверяет, не превышает ли совокупная смета мероприятий прогнозируемый лимит финансирования, и, если превышает, инициирует итеративный пересмотр целевых показателей.

Моделирования боевых действий

Суть метода. Моделирование боевых действий – это научный метод воспроизведения вооружённого противоборства на математических, компьютерных или натурных (полигонных) моделях с целью прогнозирования его хода и исхода. Аналитическим фундаментом служат дифференциальные уравнения динамики боя Ланчестера и их многочисленные модификации, описывающие скорострельность, уязвимость и маневренные возможности сторон. В современных условиях преимущественно применяется имитационное моделирование, воспроизводящее поведение тысяч индивидуальных боевых единиц на цифровой карте местности с учётом стохастических факторов.

Преимущества. Моделирование боевых действий является единственным научно обоснованным способом проверить эффективность крупных военно-экономических программ до их полной реализации, позволяя проигрывать на компьютере не только сражения, но и целые кампании, варьируя структуру и оснащённость войск в зависимости от объёмов финансирования. Метод также даёт возможность количественно оценить чувствительность исхода операции к дефициту конкретных ресурсов, подсказывая военному экономисту, на чём именно категорически нельзя экономить, а где допустимы компромиссные решения.

Недостатки. Любая модель боя есть упрощение, и её прогнозы справедливы лишь в той мере, в какой верны заложенные в неё допущения о тактике действий сторон, стойкости личного состава, надёжности связи и разведки, – ошибка же хотя бы в одном критическом параметре способна привести к выводам, прямо противоположным реальности. Кроме того, имитационные модели высокой детализации требуют колоссальных вычислительных и трудовых затрат на подготовку исходных данных и верификацию, а полученные с их помощью столь подробные результаты часто создают у лиц, принимающих решения, опасную иллюзию точности там, где на самом деле царит глубокая неопределённость.

Пример. Обоснование потребного количества высокоточных боеприпасов большой дальности для сковывания оперативного манёвра противника в начальный период конфликта. Строится имитационная модель, в которой синяя сторона обладает N пусковыми установками с известной стоимостью одного залпа, а красная сторона имеет определённое количество мостов, железнодорожных узлов и пунктов управления. Варьируя N и расходом ракет в первых ударах, модель определяет, при каком объёме финансирования закупки боеприпасов темп продвижения резервов противника падает ниже критического порога, обеспечивающего нашим войскам время на отмотилизование.

Оценки военно-экономической эффективности

Суть метода. Оценка военно-экономической эффективности представляет собой завершающий, синтетический этап анализа, в рамках которого соизмеряются интегральный военный результат (боевая эффективность) и совокупные экономические затраты, потребовавшиеся для его достижения. В отличие от методов оценки чисто боевой эффективности, здесь в явном виде вводится ресурсное ограничение, а в отличие от методов оценки чисто экономической эффективности – результат измеряется не в рублях, а в приращении боевого потенциала, вероятности выполнения задачи или в числе сохранённых жизней военнослужащих.

Преимущества. Оценка военно-экономической эффективности является единственным методом, позволяющим свести в единую логическую схему разрозненные аргументы «военных хозяйственников» и «операторов», давая высшему руководству государства прозрачный критерий: данный вариант оборонной программы обеспечивает требуемый уровень военной безопасности при минимально возможном отвлечении ресурсов от гражданского сектора. Метод также в явном виде стимулирует поиск технологических решений,

одинаково эффективных в бою и экономичных в производстве и эксплуатации, поскольку именно они занимают оптимальное положение на границе «затраты – эффективность».

Недостатки. Главная методологическая трудность заключается в процедуре свёртки многомерного вектора боевых эффектов (разведка, огневое поражение, живучесть, мобильность) в скалярный показатель эффективности, – веса, с которыми эти частные эффекты входят в интегральную оценку, назначаются экспертно и часто становятся предметом межведомственной борьбы, полностью искажающей итоговое ранжирование программ. Кроме того, оценка военно-экономической эффективности всегда ограничена тем горизонтом прогнозирования, на котором удаётся с приемлемой точностью оценить и затраты, и боевые возможности, – для стратегических систем оружия этот горизонт составляет 20-30 лет, и любая цифра эффективности за его пределами носит сугубо ориентировочный характер.

Пример. Выбор рационального варианта оснащения общевойсковой бригады средствами войсковой ПВО. Рассматриваются три альтернативы: модернизация стоящих на вооружении комплексов, закупка новых машин на базе существующего шасси или разработка принципиально нового зенитного артиллерийско-ракетного комплекса. Для каждой альтернативы методами моделирования боя оценивается вероятность прикрытия бригады от удара тактической авиации, параллельно калькулируется полная стоимость программы (НИОКР + закупка + эксплуатация за 20 лет). Отношение приращения вероятности выполнения задачи к приращению дисконтированных затрат по сравнению с базовым вариантом даёт показатель военно-экономической эффективности, на основе которого и делается выбор.

Заключение

Представленный выше анализ методов – от системного подхода и математического моделирования до оценки боевой и военно-экономической эффективности – наглядно демонстрирует одну принципиальную особенность данной научной дисциплины: практически любая нетривиальная задача обоснования военно-технического решения является многокритериальной по своей природе. Военному исследователю неизбежно приходится искать баланс между несколькими, часто прямо конфликтующими критериями: дешевизна образца противоречит его надёжности, мобильность вступает в конфликт с защищённостью, а стремление сократить время разработки ведёт к удорожанию серийного производства.

Более того, как было показано на примерах оценки военно-экономической эффективности, процедура свёртки частных показателей в единый интегральный критерий неизбежно сопряжена с субъективным назначением весовых коэффициентов значимости, что создаёт риск манипуляции итоговым результатом и порождает острые межведомственные споры. Попытки обойти эту проблему путём выбора одного доминирующего критерия и перевода всех остальных в разряд ограничений также не дают удовлетворительного решения, поскольку в военном деле жесткие лимиты, заданные политическим руководством или бюджетным процессом, редко остаются неизменными, а исследователю требуется представить не единственный ответ, а всё множество разумных компромиссов.

Решение большинства прикладных задач военно-экономического анализа предполагает поиск рационального баланса между несколькими частными показателями, измеряемыми в различных, не сводимых друг к другу единицах: рублях, вероятностях, часах, километрах, человеко-часах. Когда ни один из этих показателей не может быть признан единственно важным, а уступка по одному из них не компенсируется автоматически выигрышем по другому, аналитик вынужден обращаться к инструментарию многокритериальной оптимизации. В военно-экономической науке для этих целей исторически востребованы три принципиально различающихся по своей внутренней логике метода, каждый из которых предлагает собственный способ работы с множественностью целей [6; 7]:

- метод Парето-оптимизации исходит из фундаментального принципа, согласно которому решение $x^* \in X$ признаётся оптимальным по Парето, если не существует иного допустимого решения $x \in X$, которое было бы не хуже по всем частным критериям и строго лучше хотя бы по одному из них;

- метод анализа иерархий, предложенный Т.Саати, представляет собой формализованную процедуру декомпозиции сложной проблемы выбора на иерархическую структуру целей, критериев, подкритериев и альтернатив с последующим попарным сравнением элементов каждого уровня и вычислением их приоритетов;

- метод главного критерия, именуемый также методом последовательных уступок или методом выделения основного показателя, базируется на выделении из совокупности частных критериев одного, признаваемого доминирующим, и переводе всех остальных в разряд ограничений с установлением для них пороговых значений.

Сравнительный анализ указанных методов применительно к тематике оборонной направленности является самостоятельной задачей.

Таким образом, исходя из анализа методов ВЭА и примеров их использования в военном деле, можно сделать следующие выводы:

1. Спектр методов ВЭА достаточно широк и их использование на практике требует глубоких знаний в математике, теории вероятностей, военной экономики, теории принятия решений, математическом моделировании и пр.

2. Методы ВЭА позволяют решать широкий круг задач, связанных с формированием различных вариантов развития структурных элементов военной организации государства, определением военно-экономических показателей по каждому варианту, отбор допустимых и выбор из них оптимального.

3. Принципиальным отличием методов ВЭА является обязательность соизмерения интегрального военного результата (эффекта) и совокупных экономических затрат, потребовавшихся для его достижения.

Список источников

1. Викулов С.Ф. Военно-экономический анализ. М.: Воениздат, 2001. 350 с.
2. Военно-экономический анализ в экономике военного строительства: современные проблемы и тенденции развития / Под ред. С.Ф. Викулова. Ярославль: ЯВФЭУ, 2007. 260 с.
3. Викулов С.Ф., Хрусталёв Е.Ю. Военно-экономический анализ современных оборонных проблем России // Экономический анализ: теория и практика. 2012. №12(267). С. 2-9.
4. Викулов С.Ф. Военно-экономический анализ: история, методология, проблемы // Вооружение и экономика. 2012. №4(20). С. 86-97.
5. Викулов С.Ф., Хрусталёв Е.Ю. Методологические основы и специфика военно-экономического анализа // Экономический анализ: теория и практика. 2014. №7(358). С. 2-11.
6. Методы военно-научных исследований систем вооружения: военно-научный труд / Под общ. ред. В.М. Буренка. М.: Граница, 2017. 512 с.
7. Золотарёв М.А. Методы многокритериальной оптимизации технологических объектов: систематический обзор научных публикаций за период 2013-2023 гг. // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2024. Т.32. №2. С. 25-47. doi:10.14498/tech.2024.2.2.

Информация об авторах

Г.А. Лавринов – доктор экономических наук, профессор, SPIN 2965-9572.
Н.Д. Шапошникова – <https://orcid.org/0009-0004-8323-4108>.

Научная статья
УДК 339.972

Идентификация продукции двойного назначения. Актуализация алгоритма проведения

Сергей Аркадьевич Захаров

Аннотация. Рассмотрена регламентированная нормативными актами Российской Федерации в области экспортного контроля процедура проведения идентификации контролируемых товаров и технологий. Выполнена оценка ее актуальности с учетом динамически меняющейся внешнеполитической обстановки. Даны рекомендации внесения возможных изменений в последовательность действий при оценке необходимости применения мер экспортного контроля к продукции двойного назначения. Материалы статьи могут представлять интерес для совершенствования нормативной базы специально уполномоченным федеральным органом исполнительной власти в области экспортного контроля и других федеральных органов исполнительной власти, связанных со сферой внешнеэкономической деятельности.

Ключевые слова: внешнеэкономическая деятельность; контролируемые товары и технологии; система экспортного контроля; идентификационная экспертиза экспортируемой продукции; запреты внешнеэкономической деятельности

Для цитирования: Захаров С.А. Идентификация продукции двойного назначения. Актуализация алгоритма проведения // Вооружение и экономика. 2026. №3(77). С. 90-99.

Original article

Identification of dual-use products. Updating the methodology of conducting

Sergei A. Zakharov

Abstract. The procedure for the identification of controlled goods and technologies, regulated by the regulatory acts of the Russian Federation in the field of export control, is considered. Its relevance has been assessed taking into account the dynamically changing foreign policy environment. Recommendations are given for making possible changes to the sequence of actions when assessing the need to apply export control measures to dual-use products. The materials of the article may be of interest for improving the regulatory framework by a specially authorized federal executive body in the field of export control and other federal executive bodies related to the sphere of foreign economic activity.

Keywords: foreign economic activity; controlled goods and technologies; export control system; identification examination of exported products; prohibitions on foreign economic activity

For citation: Zakharov S.A. Identification of dual-use products. Updating the methodology of conducting. *Vooruzhenie i ekonomika* = Armament and Economics. 2026; 77(3): 90-99. (In Russ.).

Введение

В 2026 году исполняется десять лет установления в сфере экспортного контроля (ЭК) правил¹ проведения идентификационной экспертизы товаров, информации, работ, услуг и результатов интеллектуальной деятельности, которые являются объектами внешнеэкономических сделок и в силу своих особенностей и свойств могут быть использованы при создании оружия массового поражения, средств его доставки, иных видов вооружения и военной техники (далее – контролируемые товары и технологии). Изменения, произошедшие в международных отношениях за последние годы этого десятилетия, значительным образом повлияли на условия ведения российскими участниками внешнеэкономической деятельности. Экономические санкции в отношении России со стороны стран Европейского союза, США и ряда других стран стали причиной ответной реакции Российской Федерации. Суть контрмер заключается в применении предусмотренных статьей 25 Федерального закона «Об экспортном контроле»² запретов внешнеэкономической деятельности в отношении контролируемых товаров и технологий.

¹ Постановление Правительства РФ от 21 июня 2016 г. № 565 «О порядке идентификации контролируемых товаров и технологий, форме идентификационного заключения и правилах его заполнения».

² Федеральный закон от 18 июля 1999 г. № 183-ФЗ «Об экспортном контроле».

В практике национального законодательства об экспортном контроле запреты экспорта в недружественные страны явились новым инструментом. Ранее система экспортного контроля Российской Федерации носила только ограничительный характер, руководствуясь постулатом, что запреты в экспортном контроле являются исключением и ограничиваются обстоятельствами, несовместимыми с целями экспортного контроля [1]. Появление в российском законодательстве «странового запрета» оказало существенное влияние:

- 1) на алгоритм проведения идентификации контролируемых товаров и технологий – ключевой элемент экспортного контроля;
- 2) на условия ведения экспорта контролируемых товаров и технологий отечественными компаниями, для которых проведение идентификации законодательно установленная обязанность³.

Данные обстоятельства диктуют необходимость поиска возможностей устранения избыточных ограничений в сфере экспортного контроля для российских участников внешнеэкономической деятельности.

Основная часть

Идентификационная экспертиза экспортируемой продукции производится с целью выявления товаров и технологий, подлежащих экспортному контролю. Экспертиза проводится в отношении каждого предмета экспорта путем сопоставления и установления соответствия его характеристик техническому описанию товаров и технологий, включенных в контрольные списки, утверждаемые постановлениями Правительства РФ⁴.

Задача идентификационной экспертизы, согласно правилам ее проведения – определить, является ли экспортируемая продукция контролируемой. При необходимости обратиться в Федеральную службу по техническому и экспортному контролю (ФСТЭК) для оформления разрешительных документов, предусмотренных законодательством Российской Федерации (лицензии или разрешения) [2; 3].

Идентификация контролируемых товаров и технологий проводится в два этапа.

На первом этапе устанавливается соответствие экспортируемой продукции товарам и технологиям, включенным в контрольные списки (показанные на рисунках 1-3 Перечни товаров, подпадающих под ограничения в области ЭК)⁵.

На втором этапе определяются действующие в отношении экспортируемой продукции запреты внешнеэкономической деятельности, установленные Федеральным законом «Об экспортном контроле», другими федеральными законами и принятыми в соответствии с ними иными нормативными правовыми актами Российской Федерации. Проверка действующих в отношении экспортируемой продукции запретов внешнеэкономической деятельности состоит в контроле: конечного места нахождения импортера (конечного пользователя) и цели использования планируемых на экспорт товаров и технологий. Контроль конечного места и цели использования предметов внешнеэкономической сделки осуществляется в следующей последовательности:

³ Ст. 24 Федерального закона от 18 июля 1999 г. № 183-ФЗ.

⁴ Там же, ст. 6; см. также: Якимов С.Ф., Захаров С.А., Никольский А.А., Шевченко А.Г., Кузьминых В.В., Вакарев И.В., Асташенков Л.В., Демин В.М. Сборник информационно-методических материалов по экспортному контролю. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Аквариус, 2015. 772 с.

⁵ См.: Постановления Правительства РФ от 16 июля 2022 г. № 1284 «Об утверждении списка химикатов, оборудования и технологий, которые могут быть использованы при создании химического оружия и в отношении которых установлен экспортный контроль», № 1285 «Об утверждении списка ядерных материалов, оборудования, специальных неядерных материалов и соответствующих технологий, подпадающих под экспортный контроль», № 1286 «Об утверждении списка оборудования и материалов двойного назначения и соответствующих технологий, применяемых в ядерных целях, в отношении которых осуществляется экспортный контроль», № 1287 «Об утверждении списка микроорганизмов, токсинов, оборудования и технологий, подлежащих экспортному контролю», № 1288 «Об утверждении списка оборудования, материалов и технологий, которые могут быть использованы при создании ракетного оружия и в отношении которых установлен экспортный контроль», от 19 июля 2022 г. № 1299 «Об утверждении списка товаров и технологий двойного назначения, которые могут быть использованы при создании вооружений и военной техники и в отношении которых осуществляется экспортный контроль».

во-первых, определяются страна назначения идентифицируемого товара (технологии) и иностранный участник внешнеэкономической операции, объектом которой является идентифицируемый товар (технология). Страна и участник внешнеэкономической операции проверяются на принадлежность к иностранным государствам, иностранным организациям и гражданам, в отношении которых применяются специальные экономические или принудительные меры, предусмотренные Федеральным законом «О специальных экономических мерах и принудительных мерах»⁶ (специальные экономические или принудительные меры обозначены на рисунках 1-3);

во-вторых, проводится анализ этой операции с целью выявления признаков, которые в соответствии с Правилами получения разрешения Комиссии по экспортному контролю (КЭК) Российской Федерации⁷ на осуществление внешнеэкономических операций с контролируемыми товарами и технологиями могут быть использованы иностранным государством или иностранным лицом в целях создания оружия массового поражения (ОМП), средств его доставки, иных видов вооружения и военной техники (ВВТ), либо приобретаются в интересах организаций или физических лиц, причастных к террористической деятельности. Анализируемые товары (технологии) не относятся к включенным в контрольные списки либо содержатся в контрольных списках, но по техническим характеристикам не подпадают под их действие. Выявление вышеназванных признаков выполняется путем сопоставления иностранных лиц с перечнем иностранных организаций, в отношении которых имеется информация об их причастности к военным программам.

Схема последовательности действий (порядка идентификации контролируемых товаров и технологий) при оценке необходимости применения мер экспортного контроля, адекватная существующим в настоящее время нормативным актам, изображена на рисунке 1.

Начиная с двадцатых годов нынешнего столетия, состояние межгосударственных отношений характеризуется постоянным усложнением условий осуществления внешнеэкономической деятельности. Причина – введение в отношении России со стороны Европейского союза, США и ряда других стран экономических санкций. Принятие Российской Федерацией ответных мер значительно ограничило для отечественных коммерческих компаний, стремящихся выйти на внешние рынки, возможности по заключению и реализации внешнеэкономических сделок. Ограничения связаны с применением в целях обеспечения безопасности Российской Федерации специальных экономических мер в сфере внешнеэкономической деятельности⁸. В частности, введены постановлением Правительства РФ 2022 года № 311 запреты на вывоз за пределы территории России определенных товаров, а постановлениями Правительства РФ 2022 года № 313 и 2023 года № 833 – отдельных видов товаров в конкретные иностранные государства и территории. Постановлением Правительства РФ 2022 года № 312 введен разрешительный порядок вывоза за пределы территории России на территории государств-членов Евразийского экономического союза отдельных видов товаров⁹.

⁶ Федеральный закон от 30 декабря 2006 г. № 281-ФЗ «О специальных экономических и принудительных мерах».

⁷ Постановление Правительства РФ от 15 августа 2005 г. № 517 «О порядке получения разрешения Комиссии по экспортному контролю Российской Федерации на осуществление внешнеэкономических операций с товарами, информацией, работами, услугами, результатами интеллектуальной деятельности (правами на них), которые могут быть использованы иностранным государством или иностранным лицом в целях создания оружия массового поражения и средств его доставки, иных видов вооружения и военной техники либо приобретаются в интересах организаций или физических лиц, причастных к террористической деятельности».

⁸ Указ Президента РФ от 8 марта 2022 г. № 100 «О применении в целях обеспечения безопасности Российской Федерации специальных экономических мер в сфере внешнеэкономической деятельности».

⁹ Постановление Правительства РФ от 9 марта 2022 г. № 311 «О мерах по реализации Указа Президента Российской Федерации от 8 марта 2022 г. № 100»; Постановление Правительства РФ от 9 марта 2022 г. № 312 «О введении на временной основе разрешительного порядка вывоза отдельных видов товаров за пределы территории Российской Федерации»; Постановление Правительства РФ от 9 марта 2022 г. № 313 «О мерах по реализации Указа Президента Российской Федерации от 8 марта 2022 г. № 100»; Постановление Правительства РФ от 27 мая 2023 г. № 833 «О введении на временной основе запрета на вывоз отдельных товаров за пределы Российской Федерации».

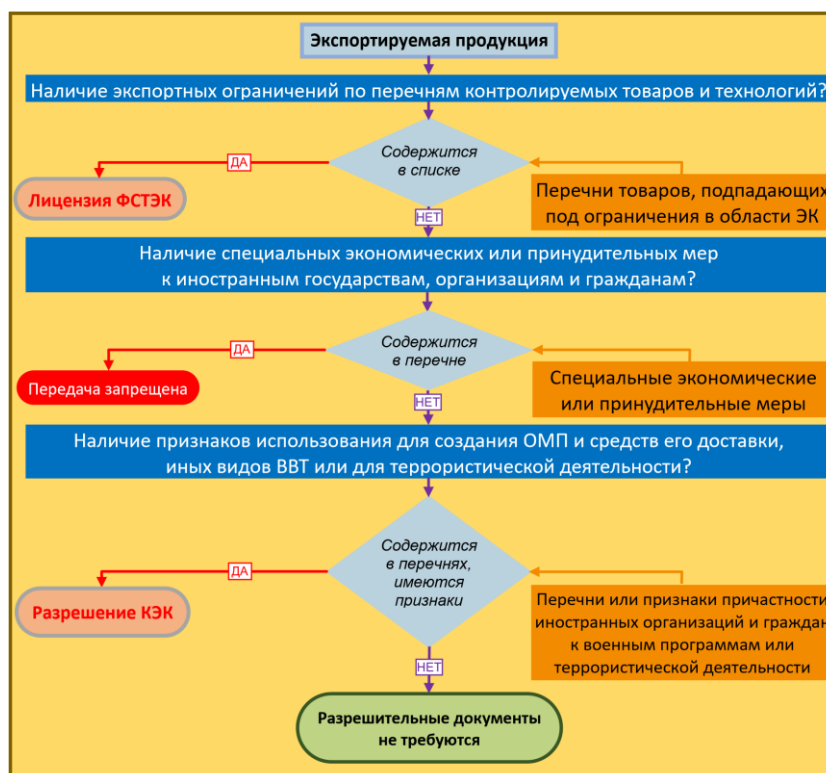


Рисунок 1 – Принятая в настоящее время последовательность действий при оценке необходимости применения мер экспортного контроля

Следует отметить, что до марта 2022 года в сфере экспортного контроля единственным документом, согласно которому в целях защиты российских национальных интересов применялись специальные экономические меры, был специальный Указ Президента РФ 2009 года о запрещении соответствующих поставок в отношении Грузии. Кроме того, имели место принудительные меры. Они вводились указами Президента РФ в связи с принятием резолюций Совета Безопасности ООН, запрещающих осуществление экспорта в страны и иностранным участникам внешнеэкономических операций контролируемых товаров и технологий, которые могут быть использованы иностранным государством или иностранным конечным пользователем в целях создания ОМП, средств его доставки, иных видов ВВТ.

Расширение практики применения специальных экономических мер и появление в нормативном законодательстве запретов экспорта из России высокотехнологичной продукции ограничило возможности российских компаний по продвижению своей продукции на рынки зарубежных государств. С учетом запретов всякая легальная внешнеэкономическая сделка с включенными в Перечень¹⁰ иностранными государствами и территориями может оказаться ничтожной.

Российские участники внешнеэкономической деятельности при осуществлении идентификации контролируемых товаров и технологий обязаны учитывать возникшую в законодательной базе новизну. При этом они непредвиденно могут столкнуться с проблемой следующего характера. Действуя согласно алгоритму, представленному на рисунке 1, им в первую очередь предстоит установить соответствие экспортируемой продукции товарам и технологиям, включенным в контрольные списки. Данная процедура не является простой и требует от исполнителей определенных знаний и практических навыков. Для ее выполнения необходимы существенные временные затраты. В результате исполнитель определится с

¹⁰ Постановление Правительства РФ от 9 марта 2022 г. № 313.

необходимостью обращения в федеральный орган экспортного контроля за оформлением разрешительных документов. Но на втором этапе идентификационной экспертизы либо он сам, либо регулятор в сфере экспортного контроля, по результатам оценки конечного места нахождения импортера (конечного пользователя) и цели использования планируемого на экспорт товара и технологии, с учетом наличия специальных экономических или принудительных мер, сделают вывод о запрете осуществления данной внешнеэкономической сделки. Участник внешнеэкономической деятельности, следуя ныне действующей последовательности по оценке необходимости применения мер экспортного контроля, потратив время, может получить отрицательный результат в форме запрета реализации предполагаемого контракта. Поэтому интересам российских внешнеэкономических компаний может отвечать такая последовательность действий по оценке необходимости применения мер экспортного контроля, которая оперативно укажет на невозможность экспорта продукции при наличии запретительных нормативных документов.

Важно понимать и учитывать, что ответный вектор российских запретительных мер, обусловленных противодействиями санкционной политике зарубежных государств, с большой долей вероятности будет носить долговременный характер. Действительно, несмотря на законодательную норму, по которой запреты в экспортном контроле являются исключением и ограничиваются обстоятельствами, несовместимыми с целями экспортного контроля, актуальным инструментом международной политики стран-членов Европейского союза и США есть и остается применение санкций к странам по целым областям внешнеторгового оборота [4]. Согласно законодательству Европейского союза, одной из форм экспортного контроля представляются запреты в форме эмбарго¹¹.

Эмбарго – это международные экономические санкции по отношению к отдельным странам, организациям, предприятиям или частным лицам¹², с помощью которых оказывается экономическое давление на руководящих лиц. В различные периоды подобные меры применялись на протяжении многих лет в отношении таких стран, как Алжир, Индия, Иран, Ирак, Израиль, Иордания, Куба, Ливия, Мозамбик, Северная Корея, Пакистан, Сирия¹³. На данном историческом этапе, страны Европейского союза и США активно пользуются санкционными мерами в отношении России.

Введение запретов на экспорт товаров двойного назначения используется и другими странами. В начале этого года со стороны Минкоммерции КНР введен запрет экспорта товаров двойного назначения «японским пользователям, для использования в военных целях Японии и для любых других целей, которые могли бы способствовать укреплению военного потенциала Японии»¹⁴. Ранее вводились запреты на поставки редкоземельных металлов в США. В апреле 2025 года, в ответ на введение США 125% пошлин на импорт китайских товаров, был объявлен контроль экспорта самария, гадолиния, тербия, диспрозия, лютеция, скандия и иттрия. С октября 2025 года в список контроля были добавлены новые элементы – гольмий, эрбий, тулий, европий и иттербий. Кроме того, с декабря 2025 года под

¹¹ См.: Регламент (ЕС) 2021/821 Европейского Парламента и Совета от 20 мая 2021 г. «Об установлении режима Союза для контроля экспорта, брокерской деятельности, технической помощи, транзита и трансфера в отношении продукции двойного назначения» / Перевод Е.В. Новиковой // ЭПС «Система ГАРАНТ»: Международное право. Ст. 9; см. также: Regulation (EU) 2021/821 of the European Parliament and of the Council of 20 May 2021 setting up a Union regime for the control of exports, brokering, technical assistance, transit and transfer of dual-use items (recast) // EUR-Lex. 2021. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2021/821/oj/eng>

¹² Официальный интернет-портал Федерального управления экономики и экспортного контроля Германии (BAFA). URL: https://www.bafa.de/EN/Foreign_Trade/Export_Control/export_control.html

¹³ Алпацкий И.В., Богомолов А.А., Вакарев И.В., Веденин В.С., Граве А.В., Козловский А.Ю., Неушкин А.А., Резвый Р.Р., Филиппов А.Б., Шумилов А.Ю. Справочник по экспортному контролю товаров и технологий двойного назначения Российской Федерации. Т.1: Комментарий к законодательству. СПб.: УЦ ЭК, 2011. 452 с.

¹⁴ Минкоммерции КНР: контроль за экспортом товаров двойного назначения в Японию абсолютно законный // Китайская глобальная телевизионная сеть. 2026. 23 января. URL: <http://russian.cgtn.com/news/2026-01-23/2014620644186177538/index.html>

ограничения попали десятки видов оборудования для переработки и производства магнитов, а также технологии повторной переработки редкоземельных материалов¹⁵.

Введенные в российское экспортно-контрольное законодательство запретительные нормативные документы, как было отмечено ранее, увеличили время идентификации контролируемых товаров и технологий. Ответственные российские экспортеры заинтересованы в оптимизации временных затрат на выполнение мер экспортного контроля. Как представляется, экспортерам важно сразу определиться с возможностью осуществления внешнеэкономической сделки, что потребует изменений в последовательности проведения идентификационной экспертизы. Первым этапом идентификационной экспертизы должна стать оценка применения специальных экономических или принудительных мер (запретов) в отношении продукции, выводимой российскими компаниями на внешние рынки, а также в отношении иностранных государств, организаций и граждан участников предполагаемых коммерческих сделок.

В случае экспорта ядерных материалов и технологий в страны, не обладающие ядерным оружием, при оценке возможности осуществления внешнеэкономической сделки, необходимо выполнить дополнительный этап – оценку наличия в этих странах действующего соглашения с Международным агентством по атомной энергии (МАГАТЭ) о гарантиях¹⁶.

Только после решения этих задач следует приступить к следующему этапу идентификационной экспертизы – оценке наличия экспортных ограничений по перечням контролируемых товаров и технологий. Данная задача по содержанию аналогична первому этапу существующей в настоящее время последовательности проведения идентификационной экспертизы – установлению соответствия экспортируемой продукции товарам и технологиям, включенным в контрольные списки.

Завершающий этап идентификационной экспертизы останется прежним – анализ внешнеэкономической операции, объектом которой является идентифицируемый товар в соответствии с Правилами получения разрешения Комиссии по экспортному контролю Российской Федерации¹⁷.

Предложенная актуализированная последовательность действий при оценке необходимости применения мер экспортного контроля в отношении экспортируемой продукции, с учетом наличия в национальном законодательстве нормативных документов, определяющих действие запретов, изображена на рисунке 2.

Анализируя трендовые направления контроля внешнеэкономической деятельности, каким-либо образом связанные с необходимостью проведения идентификационной экспертизы, привлекают внимание изменения в сфере контроля научной, научно-технической деятельности и экспериментальных разработок, выполняемых совместно с иностранными гражданами и иностранными организациями. С марта 2026 года вступили в силу требования к оформлению участия иностранных граждан и иностранных организаций в научной и (или) научно-технической деятельности и экспериментальных разработках (далее – Правила)¹⁸.

¹⁵ См.: Квятык Е. Пекин затягивает металлические гайки: как Си Цзиньпин использует редкоземельные металлы для давления на Дональда Трампа // Московские Новости. 2025. 09 октября. URL: <https://www.mn.ru/smart/pekin-zatyagivaet-metallicheskie-gajki-kak-si-czzipin-ispolzuet-redkozemy-dlya-davleniya-na-donald-trampa>; см. также: Распоряжение Правительства РФ от 30 августа 2022 г. № 2473-р «Об утверждении Перечня основных видов стратегического минерального сырья».

¹⁶ Постановление Правительства РФ от 15 декабря 2000 г. № 973 «Об экспорте и импорте ядерных материалов, оборудования, специальных неядерных материалов и соответствующих технологий».

¹⁷ Постановление Правительства РФ от 15 августа 2005 г. № 517.

¹⁸ Постановление Правительства РФ от 27 ноября 2025 г. № 1894 «Об утверждении Правил согласования с Федеральной службой безопасности Российской Федерации участия иностранных граждан и иностранных организаций, а также российских организаций, участниками (учредителями) которых являются иностранные граждане и (или) иностранные организации, в научной и (или) научно-технической деятельности и экспериментальных разработках».

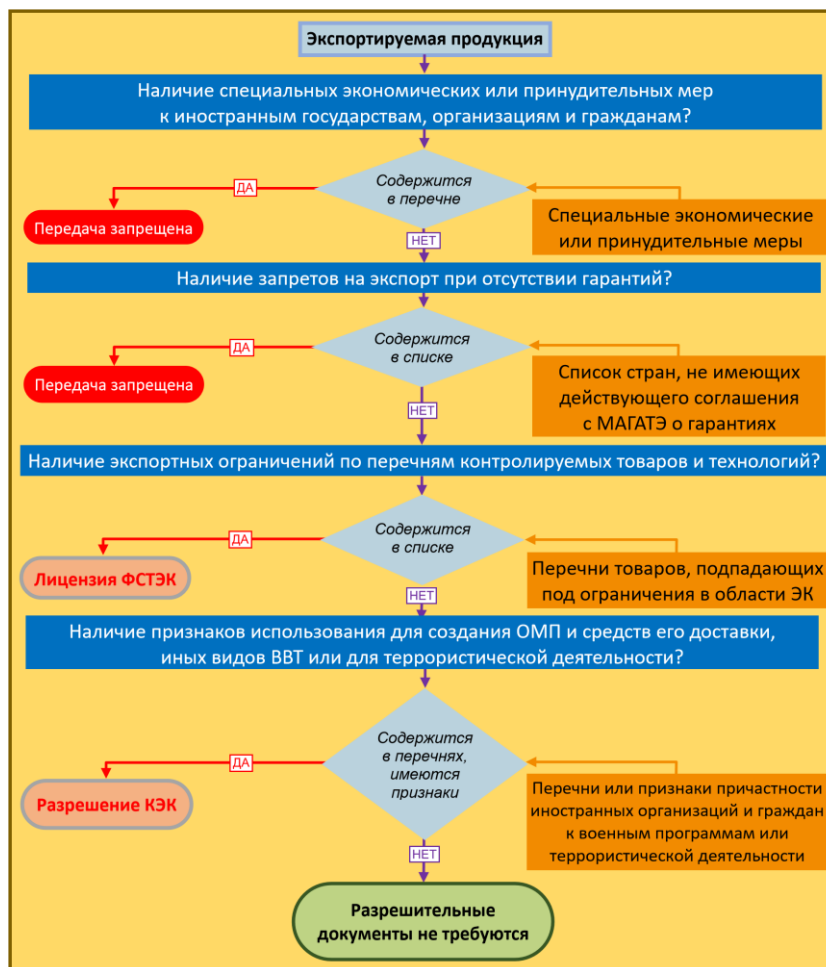


Рисунок 2 – Актуализированная последовательность действий при оценке необходимости применения мер экспортного контроля

Правила устанавливают, что направления научной и (или) научно-технической деятельности и экспериментальных разработок, участниками (учредителями) которых являются иностранные граждане и (или) иностранные организации (далее – совместные разработки), должны быть включены по согласованию с федеральным органом исполнительной власти в области обеспечения безопасности в перечень, предусмотренный Федеральным законом «О науке и государственной научно-технической политике»¹⁹ (далее – Перечень Минобрнауки). В открытых источниках упоминания о Перечне Минобрнауки отсутствуют. Но главное в том, что Правила согласования устанавливают порядок взаимодействий заинтересованных сторон. При этом законодательством не установлены критерии для принятия решения о включении или отказе от включения совместных разработок в Перечень Минобрнауки.

Как представляется, задача качественной и количественной оценки характеристик потенциальных совместных разработок на соответствие контролируемым товарам и технологиям должна решаться в сфере экспортного контроля.

Что имеется в современной национальной нормативно-правовой базе по этому вопросу и может служить основой для формирования критериев для принятия решения?

¹⁹ Федеральный закон от 23 августа 1996 г. № 127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике».

Во-первых, перечень критических технологий Российской Федерации. *Во-вторых*, перечень технологий, имеющих важное социально-экономическое значение или важное значение для обороны страны и безопасности государства (критические технологии).

Обзор практики ведущих зарубежных стран по регулированию размещения (опубликования) результатов научно-технической деятельности, подпадающей под экспортный контроль в открытом доступе, в том числе выполняемых совместно с иностранными гражданами и иностранными организациями, свидетельствует [5], что в основу регулирования положены подготовленные экспортно-контрольными органами перечни областей знаний, в которых полученная исследователями и научно-исследовательскими институтами научная информация связана с повышенными рисками ее использования для создания ОМП и средств его доставки, иных видов ВВТ.

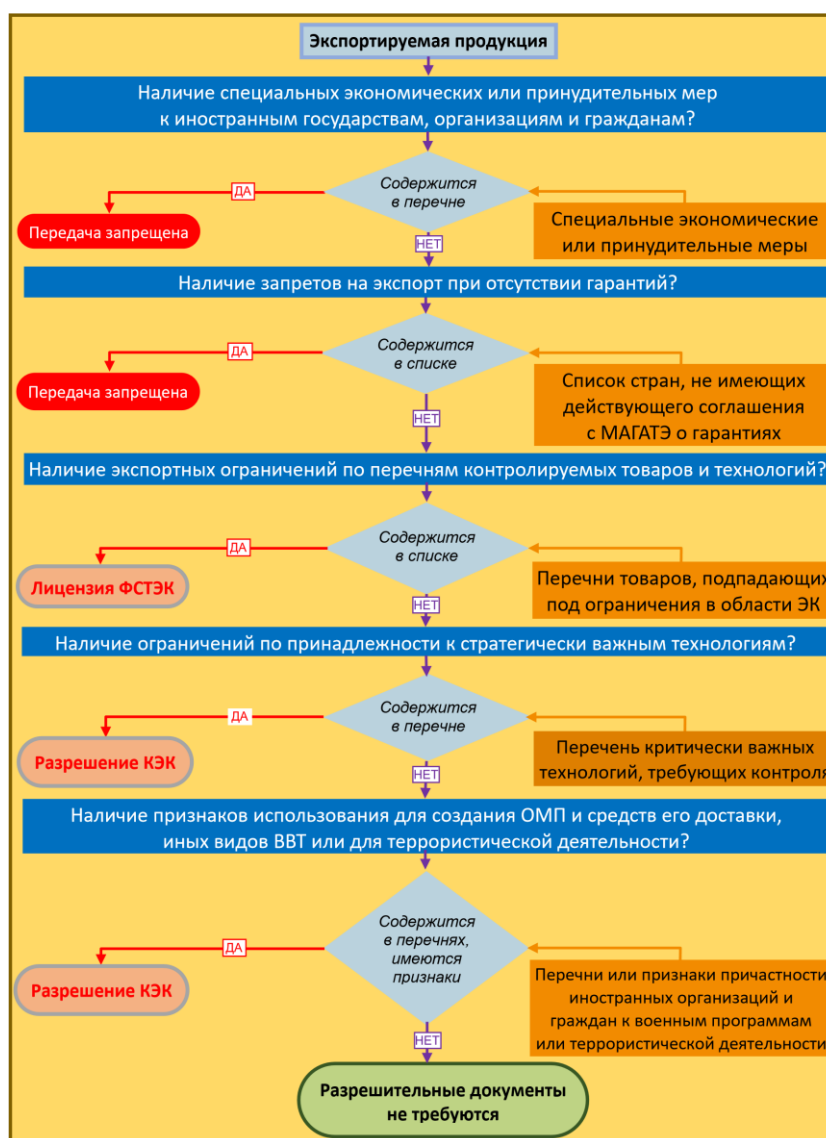


Рисунок 3 – Концептуальная последовательность действий при оценке необходимости применения мер экспортного контроля

Учитывая международный опыт, для целей экспортного контроля актуальна подготовка в межведомственном формате государственных органов власти перечня критически значимых для Российской Федерации технологий, связанных с повышенными рисками распространения инновационной продукции двойного назначения (далее – критически значимые технологии). Данный перечень обеспечит национальные органы экспортного контроля инструментом проведения идентификационной экспертизы в интересах подготовки рекомендаций федеральному органу исполнительной власти в области обеспечения безопасности. Исходя из рекомендаций, будет приниматься решение о включении или отказе от включения научной, научно-технической деятельности и экспериментальных разработок, выполняемых совместно с иностранными гражданами и иностранными организациями, в Перечень Минобрнауки.

Использование в идентификационной экспертизе национального перечня критически значимых технологий добавит в алгоритм ее проведения дополнительный четвертый этап. Суть его заключается в сопоставлении тематики выполняемых совместно научных разработок с критически важными технологиями из перечня для выявления признаков, создающих угрозу суверенной технологической безопасности. В случае наличия таких признаков, рекомендации о включении или отказе от включения выполняемых совместно научных, научно-технических работ и экспериментальных разработок в Перечень Минобрнауки будут приниматься решением Комиссии по экспортному контролю Российской Федерации²⁰.

На рисунке 3 изображена концептуальная схема последовательности действий с проведением оценки необходимости применения мер экспортного контроля в отношении научной, научно-технической деятельности и экспериментальных разработок, выполняемых совместно с иностранными гражданами и иностранными организациями.

Заключение

Современные вызовы в международной политике существенным образом повлияли на традиционные правила ведения внешнеэкономической деятельности. Экономическое давление недружественных стран на Россию через эмбарго вынудило применять ответные меры, которые значительно ограничили возможности отечественных экспортеров по заключению и реализации внешнеэкономических сделок. Изменения в российском экспортно-контрольном законодательстве обеспечили главную роль нормативным документам, определяющим действие запретов. Оценивая имеющуюся практику использования санкционных мер в международной практике, очевидной является вероятность долговременности их применения в отношении России.

Данная реальность является определяющей в поисках путей снижения экспортно-контрольной нагрузки на российских участников внешнеэкономической деятельности. Как видится, путь решения данной задачи возможен посредством проведения корректировки в системе экспортного контроля порядка выполнения идентификационной экспертизы контролируемых товаров и технологий. Учитывая переход, произошедший в идентификационной экспертизе от оценки соответствия экспортируемой продукции товарам и технологиям, включенным в контрольные списки, к определению действующих в национальном законодательстве в отношении экспортируемой продукции запретов внешнеэкономической деятельности, требуется изменить действующий порядок идентификации контролируемых товаров и технологий.

Помимо введения ответных мер на санкционную политику стран антироссийской коалиции, происходят изменения правил ведения внешнеэкономической деятельности и осуществления мероприятий экспортного контроля внутри страны. На сегодняшний день в сфере контроля научной, научно-технической деятельности и экспериментальных разработок, выполняемых совместно с иностранными гражданами и иностранными организациями, очевиден тренд на векторные изменения в обеспечении суверенной технологической

²⁰ Постановление Правительства РФ от 15 августа 2005 г. № 517.

безопасности. При этом данные изменения так же затрагивают действующий порядок идентификации контролируемых товаров и технологий, который целесообразно адаптировать для этих целей. Возможности экспортного контроля в отношении научной, научно-технической деятельности и экспериментальных разработок, выполняемых совместно с иностранными гражданами и иностранными организациями, могут быть реализованы посредством введения в алгоритм идентификационной экспертизы нового элемента – перечня критически значимых для Российской Федерации технологий, связанных с повышенными рисками распространения инновационной продукции двойного назначения²¹, подготовленного в межведомственном формате государственных органов власти.

Как представляется, одним из путей минимизации для российских экспортно-ориентированных организаций объективно складывающихся непростых условий ведения внешнеторговых операций является оптимизация избыточных ограничений в нормативных актах сферы экспортного контроля. Актуализация порядка идентификации контролируемых товаров и технологий может стать эффективной мерой, проводимой специально уполномоченным федеральным органом исполнительной власти в области экспортного контроля по достижению более благоприятных условий ведения внешнеэкономической деятельности.

Список источников

1. Малькевич В.Л. Экспортный контроль: от противостояния к сотрудничеству. М.: Общество сохранения литературного наследия, 2012. 508 с.
2. Саввиди К.М. Понятие и идентификация товаров и технологий двойного назначения в контексте права // Современное право. 2025. №1. С. 33-39.
3. Щербаков М.Г. Проблемы режима товаров и технологий двойного назначения // Вестник Казанского юридического института МВД России. 2018. Т.9. №2(32). С. 203-210. doi:10.24420/KUI.2018.32.13967.
4. Надточей Ю.И. Экспортный контроль в Европейском союзе: между «нормативной силой» и «стратегической автономией» // Актуальные проблемы Европы. 2026. №1(129). С. 119-145. doi:10.31249/ape/2026.01.07.
5. Захаров С.А. Мировая практика регулирования размещения в открытом доступе научно-технической информации, подпадающей под экспортный контроль // Вооружение и экономика. 2025. №3(73). С. 84-90.

Информация об авторе

С.А. Захаров – кандидат технических наук, доцент.

²¹ Захаров С.А. О понятии «двойное назначение» в отношении промышленной продукции // Вооружение и экономика. 2026. №2(76). С. 84-91.

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 – сносках 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

ИЗОНОВ Виктор Владимирович

доктор исторических наук, профессор

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 – *заместитель главного редактора*

СИВКОВ Константин Валентинович

доктор военных наук, профессор

ХРУСТАЛЕВ Евгений Юрьевич

доктор экономических наук, профессор

ХУДЯКОВ Дмитрий Владимирович

кандидат экономических наук, доцент – *заместитель главного редактора – ученый секретарь*

ЦЕЛЫКОВСКИХ Александр Александрович

доктор военных наук, профессор

ЧИСТОВ Игорь Вадимович

доктор экономических наук, профессор

2026 №3(77)

В номере:

46 Центральный научно-исследовательский институт Министерства обороны Российской Федерации

Российская академия ракетных и артиллерийских наук

Академия проблем военной экономики и финансов

Издается с 2008 года

Журнал «Вооружение и экономика» включен в Перечень ведущих рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук

Св-во о рег. СМИ
от 07.12.2012 г.
№ФС77-52083
ISSN 2071-0151

Главный редактор
Буренок В.М.

Заместители гл. ред.
Гладышевский В.Л.
Лавринов Г.А.
Подольский А.Г.

Ученый секретарь
Худяков Д.В.

Редактор
Молчанова Т.М.

Перевод
Криворучко О.В.

ВООРУЖЕНИЕ И ВОЕННАЯ ТЕХНИКА

Буравлев А.И. Применение последовательной байесовской процедуры в задачах экспертного оценивания

Григорошенко В.М., Олейников И.И., Ачасов О.Б., Галич Р.Г.

Современное состояние разработок в области космического мониторинга и слежения Европейских государств

Белянкин А.В., Семенов Е.Н., Герасименко С.Ю., Пирогов С.Ю.

Подходы к выбору рациональных вариантов программы создания жидкостного ракетного двигателя ракеты-носителя в условиях ограниченных объемов испытаний и сроков выполнения

Абросимов В.К., Келоглян А.Х. Роль и место мультимодальных больших языковых моделей в задачах создания систем противодронной обороны

Найденов В.Г., Егоров Д.Л., Лендоев К.В. Роль цифровых технологий в обеспечении испытаний сложных технических систем

Степанов В.Д. О свойствах, боевых возможностях и эффективности авиационных комплексов

Султанов А.Э. Проблемные вопросы обеспечения кратности использования многоразовых средств выведения космических аппаратов

Самойлов Д.В. Формирование навыков безопасной эксплуатации переносных зенитно-ракетных комплексов в процессе обучения на комплексном тренажере

ВОЕННАЯ ЭКОНОМИКА

Лавринов Г.А., Шапошникова Н.Д. Методы военно-экономического анализа и их использование при решении задач оборонной направленности

Захаров С.А. Идентификация продукции двойного назначения. Актуализация алгоритма проведения

Вооружение и экономика