

2024
№3 (69)

**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 style="text-align: center;">Вооружение и экономика 2024. №3(69)</h1> <p style="text-align: center;"><i>электронный научный журнал</i></p> <p style="text-align: center;">http://www.viek.ru</p>
<p><i>Издается с 2008 года</i></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. № ФС77-52083</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>	<p style="text-align: center;"><i>Содержание</i></p> <h2 style="text-align: center;">ВООРУЖЕНИЕ И ВОЕННАЯ ТЕХНИКА</h2> <p>Корчак В.Ю., Брайткрайц С.Г., Воронцов П.С. Закономерности эволюционно-технологического подхода в развитии навигационных технологий для вооружения, военной и специальной техники..... 5-12</p> <p>Буравлев А.И., Белорозов М.С., Михалкин А.В. К вопросу оптимального распределения ассигнований, выделяемых в программный период, на закупку и ремонт вооружения и военной техникой 13-19</p> <p>Пьянков А.А., Звягинцев С.А., Филатов И.Н. Каталогизация, унификация и стандартизация оборонной продукции в едином контуре управления номенклатурой, поставляемой по государственному оборонному заказу 20-27</p> <p>Горский А.С., Полушкин В.М., Ермоленко А.В. Комплексный подход к проведению испытаний систем искусственного интеллекта 28-38</p> <p>Стукалин С.В., Хованов Д.Г., Першиков Г.Ю. Подход к определению обобщенных критериев шкалирования военных технологий на основе аппроксимационного метода 39-46</p> <p>Глазунов Ю.М., Аносов Р.С., Бывших Д.М. Методика оценки технико-экономического выигрыша от использования технологии программируемого радио при создании техники радиоэлектронной борьбы 47-51</p>

<p>Главный редактор В.М. Буренок</p> <p>Редакционная коллегия А.А. Александров О.Б. Ачасов В.И. Бабенков А.М. Батьковский С.И. Боков С.Г. Брайткрайц А.И. Буравлев С.Ф. Викулов (зам. гл. ред.) В.Л. Гладышевский (зам. гл. ред.) Е.В. Горгола П.А. Дрогозов Р.А. Дурнев Г.А. Лавринов (зам. гл. ред.) А.В. Леонов В.Г. Найденов А.Г. Подольский К.В. Сивков Е.Ю. Хрусталеv Д.В. Худяков (зам. гл. ред. – уч. секр.) А.А. Цельковских И.В. Чистов</p> <p>Оформление, верстка Д.В. Худяков</p> <p>Редактор Т.М. Молчанова</p> <p>Перевод О.В. Криворучко</p>	<p style="text-align: center;">ВОЕННАЯ ЭКОНОМИКА</p> <p>Леонов А.В., Пронин А.Ю., Лендоев К.В. Обоснование оптимального начала переоснащения войск на перспективные виды вооружения с учетом этапов их жизненного цикла 53-62</p> <p>Шумов В.В. Почему Россия достигнет целей специальной военной операции? Количественный анализ 63-74</p> <p>Подольский А.Г., Бабкин А.В. Методический аппарат определения трудоемкости выполнения научно-исследовательской работы 75-88</p> <p style="text-align: center;">Дополнительные материалы</p> <p><i>Правила предоставления авторами рукописей</i> 90</p> <p><i>Карточка автора</i> 92</p> <p><i>Особенности распространения журнала</i>..... 92</p> <p><i>Порядок рецензирования рукописей</i> 93</p> <p><i>Сведения о членах редакционной коллегии</i>..... 94</p>
--	---

ВООРУЖЕНИЕ И ВОЕННАЯ ТЕХНИКА

Научная статья
УДК 629.7.05

Закономерности эволюционно-технологического подхода в развитии навигационных технологий для вооружения, военной и специальной техники

Владимир Юрьевич Корчак, Сергей Гарриевич Брайткрайц, Павел Сергеевич Воронцов

Аннотация. В статье авторами приведены основы конструктивной эволюции технических систем и технологий. Показаны отличия в понимании этого процесса в стране и за рубежом. На примере астроинерциальных навигационных систем рассмотрен эволюционно-технологический подход в качестве основной тенденции для выявления перспективных направлений развития вооружения, военной и специальной техники и выбора на этой основе рациональных решений для разработки и создания новых образцов. Показано, что астроинерциальные навигационные системы эволюционировали за счет изменения своей структуры путем планомерного включения в свой состав новых подсистем. В настоящее время наблюдается наступление фазы устойчивого плато в их развитии.

Ключевые слова: эволюция технических систем и технологий; навигационные технологии; астроинерциальные навигационные системы; тенденции развития

Для цитирования: Корчак В.Ю., Брайткрайц С.Г., Воронцов П.С. Закономерности эволюционно-технологического подхода в развитии навигационных технологий для вооружения, военной и специальной техники // Вооружение и экономика. 2024. №3(69). С. 5-12.

Original article

Patterns of the Evolutionary and Technological Approach to the Navigation Technologies Development of Weapon, Military and Special Equipment

Vladimir Iu. Korchak, Sergei G. Braitkraits, Pavel S. Vorontsov

Abstract. In the article the authors summarize the basics of constructive evolution of technical systems and technologies. The differences in the understanding of this process in the country and abroad are shown. On the example of astro-inertial navigation systems, the evolutionary-technological approach is considered as the main trend in identification of promising directions of weapons, military and special equipment development and selection on this basis of rational solutions for the new samples development and creation. It is shown that astro-inertial navigation systems evolved by changing their structure through the systematic inclusion of new subsystems in their composition. At present, the onset of a stable plateau phase in their development is observed.

Keywords: technical systems and technologies evolution; navigation technologies; astro-inertial navigation systems; development trends

For citation: Korchak V.Iu., Braitkraits S.G., Vorontsov P.S. Patterns of the Evolutionary and Technological Approach to the Navigation Technologies Development of Weapon, Military and Special Equipment. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2024;69(3): 5-12. (In Russ.).

В России и других развитых странах мира в настоящее время много внимания уделяется изучению закономерностей возникновения и дальнейшего развития новых (в американской терминологии – прорывных (disruptive)) технологий. Активно исследуются результаты мониторинга в данной предметной области. Чтобы разобраться в причинах такого интереса достаточно обратиться к соответствующим ресурсам Internet, в которых содержится актуальная информация о достижениях науки и технологий. Очевидно, что в первую очередь активность многих зарубежных компаний связана с возможностью зарабатывания на консалтинговой деятельности, связанной с мониторингом и прогнозированием инновационной деятельности, оценкой ее рисков и, возможно, с выбором и оптимизацией перспективных разработок. В большинстве случаев такие исследования связаны с инновационной деятельностью в области информационных технологий. Примером компании, предоставляющей консультационные услуги организациям и предприятиям, внедряющим информационные технологии, а также инвесторам на рынке этих технологий и поставщикам, является американская компания Gartner¹.

¹ Gartner: главные стратегические технологические тенденции на 2024 год. URL: https://dzen.ru/a/ZTq0u_6sBBFo4PLB

Авторам настоящей статьи показалось крайне интересным применить ряд приемов, используемых зарубежными компаниями, для оценки и прогнозирования развития военных технологий, а конкретно – технологий навигационного обеспечения образцов вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ). Такие решения могут оказаться достаточно эффективными, учитывая существенный опыт, накопленный отечественными специалистами еще в советский период. При этом имеется очевидное сходство отечественных и зарубежных исследований. Вместе с тем необходимо учесть, что в СССР работы по изучению закономерностей возникновения новых технических и технологических решений проводились намного раньше, чем появились их зарубежные аналоги. К тому же работы советских авторов носили практический характер. Достаточно упомянуть Межотраслевой фонд эвристических приемов², описание которого будет приведено в последующем изложении.

В настоящее время в качестве генеральной тенденции для выявления перспективных направлений развития новой техники и формирования на этой основе совокупности стратегий для разработки и создания новых образцов ВВСТ рассматривается эволюционно-технологический подход (ЭТП)³. Рассмотрим закономерности ЭТП применительно к развитию военных навигационных технологий, в частности, астроинерциальных.

Эволюционно-технологический подход применительно к развитию навигационных технологий ВВСТ

Под ЭТП понимается [1] методология создания и приобретения перспективных ВВСТ, основанная на постепенном многошаговом процессе повышения уровня знаний в определенных научно-технологических областях и предназначенная для обеспечения достоверности прогнозируемого облика ВС РФ, предсказуемости и стабильности программ создания вооружения, а также снижения риска при их реализации. В основе ЭТП лежит идея о том, что удачные примеры разработок образцов ВВСТ связаны с постепенным приращением их полезных свойств или качеств. При этом разработчик может использовать опыт и знания, полученные при разработке более ранних версий. Практический опыт показывает, что наиболее эффективны такие разработки в том случае, если каждый их шаг представляет собой определенный результат, основанный на реализации совокупности зрелых технологий, разработанных ранее.

Однако, по нашему мнению, возможности ЭТП гораздо шире. Это не просто идеологическая (философская) основа, объясняющая причины развития и создания новой техники, но и (при соответствующей степени формализации подхода) достаточно конкретный и детальный инструмент прогноза развития ВВСТ. Вероятно, говорить о прогнозе или тенденциях развития конкретных видов (типов) ВВСТ на основе эволюционно-технологического подхода будет чересчур утопичным утверждением, но вместе с тем рассматривая в качестве предмета обсуждения технологии ВВСТ (в данном случае навигационные технологии), можно надеяться на получение новых достаточно обоснованных результатов.

В работе [2] были рассмотрены примеры разработок новых систем на основе одного, достаточно простого прототипа. При этом здесь постоянно проводилась параллель с эволюцией в живой природе [3]. Все изменения (мутации) рассматривались как случайные, а закреплялись (получали право на существование) лишь те из них, которые были востребованы живыми организмами в дальнейшем. Вместе с тем рассматривались и такие изменения, которые необязательно были полезными непосредственно в текущий момент, но могли стать «ступенями» для других изменений (мутаций). Это наталкивает на мысль, что концепция ЭТП вполне может быть применима и к технологиям как к знанию, каким-либо образом задокументированному и объясняющему каким образом может быть произведена очередная операция.

² Половинкин А.И. Основы инженерного творчества: учеб. пособие для студентов вузов. М.: Машиностроение, 1988. 368 с.

³ См.: Буренок В.М., Ивлев А.А., Корчак В.Ю. Развитие военных технологий XXI века: проблемы, планирование, реализация. Тверь: Купол, 2009. 624 с.; см. также [1].

Анализ развития технологий показывает, что ЭТП сочетает эволюционный и революционный взгляды на их развитие. Так, в рамках теории гиперцикла Гартнера⁴ любая технология в своем развитии обязательно проходит 5 фаз (рисунок 1).

Первая фаза – фаза старта (включения) технологии. В навигационном обеспечении в качестве примера здесь можно привести активно развиваемые в настоящее время технологии создания локальных искусственных навигационных полей для наведения управляемых средств поражения или технологии глобальных радионавигационных систем в период 1980-х гг.

Вторая фаза – пик завышенных ожиданий. Для этой фазы характерно появление многочисленных публикаций, привлечение новых соисполнителей, возможно венчурное финансирование.

После достижения пика прорывных технических и технологических решений всегда наступает *третья фаза* – фаза утраты интереса к рассматриваемой технологии. Это может быть вызвано как замедлением темпов роста результатов с использованием данной технологии, так и достижением технологического предела для данного временного периода. С другой стороны, падение интереса или разочарование в дальнейшем развитии технологии может быть следствием появлением новой технологии (возможно, даже в другой, параллельной области).

Фазой разочарований можно характеризовать разработки в области систем навигации по гравитационному полю Земли. Однако появление новых измерителей параметров гравитационного поля, развитие информационной базы с детальными моделями геофизических полей указывают на то, что фаза разочарований здесь завершается.

Еще одним ярким примером такой технологии является глобальная спутниковая радионавигация. После резкого роста количества исследований и разработок в этой области в 1980-е гг. стал наблюдаться определенный спад интереса к спутниковым радионавигационным системам (СРНС) со стороны потребителей, вызванный в первую очередь слабой помехозащищенностью СРНС. Однако жизнь не стоит на месте, и разработчиками приемной аппаратуры СРНС были получены новые эффективные конструктивные и программно-алгоритмические решения в области защиты от организованных помех, которые позволяют перейти к следующей фазе развития.

Четвертая фаза – новый старт развития технологии. Конечно, он не будет таким же быстрым, как на стадии запуска технологии, однако результаты этой фазы позволяют выйти на устойчивое плато развития. В настоящее время эта фаза характерна для инерциальных навигационных систем (ИНС) различных типов, некоторых радионавигационных систем, таких как доплеровские измерители угла скорости и сноса, радиолокационных средств разведки, обзора, прицеливания и наведения.



Рисунок 1 – Цикл Гартнера

⁴ Gartner hype cycle. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Gartner_hype_cycle

Пятая фаза – достижение устойчивого плато существования технологии. Фактически это вторая «жизнь» технологии. В части навигационных измерителей к этой фазе на современном этапе развития можно отнести ряд гироскопических и акселерометрических чувствительных элементов и датчиков, таких как твердотельные волновые гироскопы для бесплатформенных инерциальных навигационных систем (БИНС), динамически настраиваемые гироскопы для платформенных ИНС, акселерометры маятникового типа. В этой же фазе развития сегодня находятся аэрометрические системы – системы воздушных сигналов, комбинированные приемники воздушного давления и углов атаки.

Естественно, приведенные примеры носят иллюстративный характер. Но вместе с тем они позволяют выделять тенденции и прогнозировать направления развития навигационных систем, средств и комплексов.

Конструктивная эволюция технических систем и технологий

Необходимо отметить, что вопросам применения ЭТП для исследования закономерностей развития технических систем (ТС) и технологий в СССР, а позднее в Российской Федерации уделялось самое серьезное внимание. Можно даже утверждать, что в области исследований вопросов их эволюции был достигнут определенный «перевес» по сравнению с уровнем аналогичных исследований за рубежом. Об этом, в частности, свидетельствует информация, приведенная в работах [4-6].

При сходстве в целом положений, приведенных в этих работах, закон эволюции техники формулируется следующим образом⁵: в технических системах с одинаковой функциональной направленностью переход от поколения к поколению вызван устранением недостатков, то есть речь идет о направленных изменениях, связанных с улучшением критериев развития, что происходит при наличии необходимого научно-технического уровня и социально-экономической целесообразности этих ТС. Здесь следует отметить отличие данного подхода от используемых в США. Согласно последним, изменения происходят случайным образом, и закрепляются те признаки, которые востребованы в обществе.

В работе [5] указаны возможные этапы направленных изменений:

- 1) при неизменном физическом принципе действия ТС их параметры совершенствуются до достижения определенного технологического предела (на данный момент времени);
- 2) после исчерпания возможностей этапа (1) происходит переход к более рациональному техническому решению, после чего развитие опять происходит по пути этапа (1). Этапы (1) и (2) повторяются до достижения глобального экстремума для данного принципа действия;
- 3) после исчерпания научных и технологических возможностей этапов (1) и (2) происходит переход к более рациональному физическому принципу действия. Затем развитие идет снова по этапам (1) и (2) до приближения к глобальному экстремуму по принципу действия.

На рисунке 2 представлена эмпирическая кривая для этапов (1) и (2), которая в работе [5] определена как S-функция.

Представляется весьма важным сравнить подходы отечественных и зарубежных специалистов к анализу ретроспективы создания современных технических систем, путей их дальнейшего развития, подходов к возможности использования обнаруженных аналогий с эволюционными процессами в биологических системах при определении приоритетных направлений развития технологий. После сравнения цикла Гартнера (рисунок 1) и S-функции (рисунок 2), становится очевидным, что понятие цикла Гартнера является подробной детализацией первых двух этапов эволюции техники, показанных на рисунке 2. Вместе с тем такая детализация позволяет перейти к рассмотрению эволюции технологий, поскольку в дальнейшем речь пойдет о развитии технологий ВВСТ, в частности навигационных.

⁵ Половинкин А.И. Основы инженерного творчества... Указ. соч.

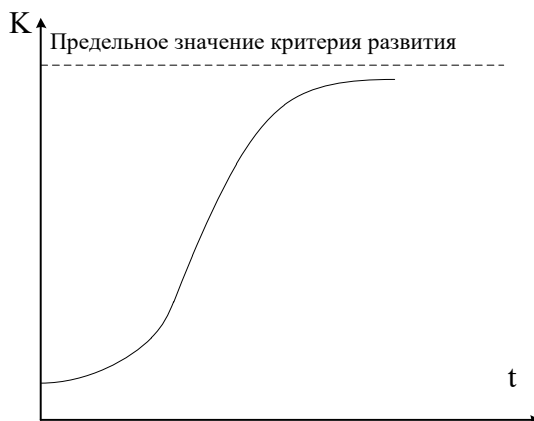


Рисунок 2 – Закономерности развития при неизменном принципе действия: S-функция

При этом следует акцентировать внимание на том, что цель анализа эволюции технических средств (ТС) и технологий одной функциональной направленности состоит: в выявлении критериев и показателей качества навигационных систем; в определении закономерностей их развития; в выделении основных приемов получения новых технических и технологических решений в данной области.

Эволюция здесь представляется последовательностью переходов:

$$(S_0) \rightarrow (S_1) \rightarrow (S_2) \dots (S_i) \dots \rightarrow (S_k), \tag{1}$$

где (S_i) – образец технической (в данном случае – навигационной) системы i -го поколения, являющейся прототипом последующих образцов; (S_k) – самая современная на сегодняшний день навигационная система.

Важным здесь является вывод отечественных исследователей (авторов указанных выше работ) о необходимости формирования ретроспективной последовательности, где возможны принципиально новые решения, основанные на новой технологической базе. Принимая во внимание природу эволюции в биологических системах, можно использовать ряд следующих приемов:

1. Взяв (S_i) , лежащие на прямой линейной эволюционной цепочке, построить ретроспективную цепочку следующего вида:

$$(S_0) \leftarrow (S_1) \leftarrow (S_2) \dots (S_i) \dots \leftarrow (S_k). \tag{2}$$

2. Выделить (S_i) , серийно производимые.

3. Выделить из них только те (S_i) , которые имеют существенные отличия от прототипов.

Следующим важным выводом является предположение о существовании параллельных цепочек и, следовательно, вероятном ветвлении эволюционных последовательностей:

$$\begin{matrix} (S_i^D) \leftarrow \lrcorner \\ (S_{i-1}) \leftarrow (S_i^F) \leftarrow (S_{i+1}), \end{matrix} \tag{3}$$

где (S_i^F) – главный прототип, (S_i^D) – дополнительный прототип.

Это дает возможность определить самый дальний прототип в эволюционной цепочке и, кроме того, определить последовательность решений, которая привела к современному облику навигационной системы.

Вероятно, самым существенным отличием понимания места и роли эволюционно-технологического подхода в формировании перспектив развития технологий ВВСТ в

отечественной практике от сложившихся представлений об ЭТП за рубежом является представление о нем, как об управляемом процессе. Для реализации соответствующего управления целесообразно использовать отработанный набор приемов. В работе [5] приводится понятие обобщенного эвристического приема. Говорится о целом ряде модификаций метода эвристических приемов, который был разработан и нашел широкое применение в СССР. Данный метод основывался на уже упоминавшемся выше Межотраслевом фонде эвристических приемов. Этот фонд содержит 180 отдельных эвристических приемов, которые разделены на 12 групп: преобразование формы; преобразование структуры; преобразование в пространстве; преобразование во времени; преобразование движения и силы; преобразование материала и вещества; приемы дифференциации; количественные изменения; использование защитных мер; использование резервов; преобразования по аналогии; повышение технологичности.

Все эвристические методы (и обобщенный эвристический подход в том числе) опираются на целый ряд информационных фондов или библиотек:

- F_1 – фонд физических эффектов;
- F_2 – фонд технических решений рассматриваемого класса ТС – навигационных систем (НС);
- F_3 – фонд требований, предъявляемых к данному классу технических решений;
- F_4 – фонд материалов и конструктивных элементов для создания новых НС;
- F_5 – фонд технологических процессов, которые можно использовать при изготовлении образцов рассматриваемого класса навигационных систем;
- F_6 – фонд технических решений ведущих образцов (ведущего класса) НС;
- F_7 – методы оценки и выбора вариантов технических решений.

Возвращаясь к анализу тенденций развития навигационных технологий, проявляющихся в ходе вооруженных конфликтов новейшего времени, можно выделить из них три основные в навигационном обеспечении войск.

Первая тенденция – это интеграция навигационных средств в эргатических навигационных системах и комплексах [6], позволяющая обеспечить рациональное сочетание естественного и искусственного интеллекта (ИИ) с безусловным приоритетом в принятии решения человеком-оператором.

Вторая тенденция связана с необходимостью навигационного обеспечения решения принципиально новых задач, обусловленных массовым применением и стремительным развитием новых средств воздушного нападения, включая широкое распространение высокоточного оружия всех видов базирования, роевые технологии беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и морских робототехнических комплексов (МРТК).

Третьей тенденцией стало активное развитие традиционных вооружений – бронетанковой техники, ствольной артиллерии, реактивных систем залпового огня, средств противозушной и противоракетной обороны на основе новых навигационных решений.

Это указывает на возможность (и даже необходимость) дополнения фонда обобщенных эвристических приемов новыми, например, гибридизацией – объединением подсистем самых разных классов, переходом внутри рассматриваемого класса к другим физическим эффектам. При этом следует учитывать роль ИИ, которая может стать определяющей в роевых технологиях БПЛА и МРТК. Рассмотрим, как реализованы различные эвристические методы в развитии астроинерциальных навигационных систем.

Пример эволюции астроинерциальных технологий с точки зрения эволюционно-технологического подхода

Астронавигационные системы (АНС) и астроинерциальные навигационные системы (АИНС) в своем развитии прошли 4 этапа.

Первый этап связан с созданием морского секстана, который широко используется и в настоящее время.

Второй этап связан с разработкой и совершенствованием перископных секстанов или перископных АНС, позволяющих определять высоты и азимуты светил в темное время суток из подводных лодок, находящихся на перископной глубине.

Третий этап заключается в разработке и совершенствовании астрокорректоров, позволяющих измерять высоты и азимуты видимых светил не только в темное, но и в светлое время суток.

Четвертый этап – это разработка радиосекстанов и радиоастронавигационных систем, обеспечивающих определение направлений на космические источники радиоизлучения в любых метеоусловиях независимо от времени суток.

Безусловно такая последовательность включает гораздо больше этапов, принимая во внимание параллельную эволюцию инерциальных навигационных систем, включаемых в состав АИНС, начиная со второго этапа развития астросистем. ИНС проходили в своем развитии оснащенность различными чувствительными элементами, а также построение в различных конструктивных версиях – платформенного, бесплатформенного и гибридного типов. Безусловно, необходимо учитывать и включение в АИНС такой важнейшей навигационной системы, как СРНС. В последнее время в состав АИНС включают корреляционно-экстремальные навигационные системы (КЭНС), использующие геофизические поля (ГФП). В первую очередь это гравитационное поле Земли, поскольку оно наиболее органично вписывается в структуру АИНС и как корректор программно-алгоритмического обеспечения ИНС, и как самостоятельная навигационная система корреляционно-экстремального типа, надежно дублирующая и дополняющая астровизирующее устройство (АВУ) в условиях отсутствия видимости светил. Такие работы пока носят исследовательский характер, но, рассматривая эволюцию АИНС, следует учитывать все этапы. Тогда можно построить технологическую цепочку этапов развития АНС:

$$\begin{aligned} & \text{Астросекстан } (S_0) \rightarrow \text{Секстан+ИНС } (S_1) \rightarrow \\ & \rightarrow \text{Астрокорректор+ИНС } (S_2) \rightarrow \text{(АВУ)+ИНС+СРНС } (S_3) \rightarrow \\ & \rightarrow \text{АВУ+БИНС+СРНС } (S_4) \rightarrow \text{РадиоАВУ+БИНС+СРНС } (S_5) \rightarrow \\ & \rightarrow \text{АВУ (радиоастрокорректор)+Блок акселерометров+СРНС } (S_6) \rightarrow \\ & \rightarrow \text{Интегрированное АВУ+БИНС+СРНС+КЭНС } (S_7). \end{aligned}$$

Можно предположить, что начиная с подэтапа (S_3), в системе будут фигурировать и элементы искусственного интеллекта. Попытаемся проанализировать представленную цепочку.

Отчетливо видно, что астроинерциальные навигационные системы с самого начала эволюционировали за счет изменения своей структуры путем постепенного включения в их состав новых подсистем. В начале это были ИНС различных типов и классов точности, затем были добавлены приемные устройства глобальных спутниковых радионавигационных систем и, наконец, в состав АИНС были включены КЭНС, функционирующие на основе ГФП. Одновременно осуществлялось развитие и всех подсистем, входящих в состав АИНС. Это касалось и используемых материалов, и изменения конструкции, и, безусловно, применения новой, более совершенной электронной компонентной базы. Возвращаясь к рассмотренным ранее закономерностям ЭТП, проиллюстрированных циклом Гартнера и S-кривой, можно говорить о наступлении в развитии АИНС фазы достижения устойчивого плато существования технологии. Возможно, следующий виток эволюции – следующий цикл Гартнера – будет связан с применением технологии ИИ. Об этом свидетельствуют исследования в области автоматической реконфигурации навигационных комплексов и систем, а также исследования по упрощению АИНС и соответствующему повышению технологичности их производства. Так, вполне вероятным является отказ от функционально законченной инерциальной системы и замена ее акселерометрическим блоком линейных ускорений, который в свою очередь может быть объединен с блоком гравиметров из состава гравиметрической КЭНС. Но это уже является темой отдельного исследования.

Таким образом, рассмотренные в статье на примере АИНС современные подходы к анализу и прогнозу развития перспективных технологий на основе ЭТП являются логическим продолжением проводившихся в советский период работ, связанных с исследованием закономерностей развития технических систем и технологий и разработкой соответствующих методических подходов. Дальнейшие исследования могут быть направлены на формализацию закономерностей эволюции навигационных технологий, для чего в первую очередь необходимо сформировать критерии выбора и сравнения наиболее актуальных технических и технологических решений в данной области.

Список источников

1. Корчак В.Ю., Полубехин А.И., Старожук Е.А., Буренок В.М., Юрин А.Д. Оборонный научно-технический задел: приоритетные направления развития и влияние на характер вооруженной борьбы. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021. 176 с.
2. Arthur W.B., Polak W. The evolution of technology within a simple computer model // Complexity. 2006. Vol.11. No.5. P. 23-31. DOI: 10.1002/cplx.20130.
3. Шумпетер Й.А. Теория экономического развития. Капитализм, социализм и демократия. М.: Эксмо, 2008. 864 с.
4. Мелещенко Ю.С. Техника и закономерности ее развития. Л.: Лениздат, 1970. 246 с.
5. Каменев А.Ф. Технические системы: закономерности развития. Л.: Машиностроение, 1985. 216 с.
6. Эргатические интегрированные комплексы летательных аппаратов: монография / Под ред. М.М. Сильвестрова. М.: Воениздат, 2007. 510 с.

Информация об авторах

В.Ю. Корчак – доктор экономических наук, старший научный сотрудник, SPIN код автора 6862-4288.
С.Г. Брайткрайц – доктор технических наук, старший научный сотрудник, SPIN код автора 4779-5045.
П.С. Воронцов – SPIN код автора 1918-9921.

Научная статья
УДК 623-9

К вопросу оптимального распределения ассигнований, выделяемых в программный период, на закупку и ремонт вооружения и военной техникой

Александр Иванович Буравлев, Михаил Сергеевич Белорозов,
Алексей Вячеславович Михалкин

Аннотация. Актуальность статьи связана с решением задачи оптимального распределения запланированного объема ассигнований на государственную программу вооружения (ГПВ) в части оснащения войск современным вооружением и военной техникой (ВВТ) и их техническое обеспечение в течение программного периода. В статье предлагается подход, в основе которого оценка военно-технического уровня воинских формирований различного уровня производится через показатели боевого потенциала и коэффициента исправности ВВТ. Это позволяет с единых позиций оценивать боевые возможности Вооруженных сил с учетом реализации мероприятий ГПВ и осуществлять оптимальное распределение запланированных ассигнований по основным направлениям программы: закупку новой техники, ремонт и модернизацию техники, находящейся в войсках, списание и утилизацию старой техники. Данный подход используется для решения задачи оптимального распределения выделенных ассигнований на ГПВ для закупки ВВТ и обеспечения требуемого уровня их боевой готовности в войсках. Статья имеет практическую направленность и может быть использована как основа в ходе распределения выделенных ассигнований на реализацию программных мероприятий в рамках государственной программы вооружения по оснащению группировки ВВТ и обеспечению его технической готовности в процессе эксплуатации по критерию «обеспечение максимальной технической готовности ВВТ и боевого потенциала группировки при заданной стоимости затрат на их обеспечение».

Ключевые слова: боевая готовность воинских формирований; техническая готовность вооружения и военной техники; техническое обеспечение войск; боевые потенциалы воинских формирований; исправность вооружения и военной техники; оснащенность воинских формирований вооружением

Для цитирования: Буравлев А.И., Белорозов М.С., Михалкин А.В. К вопросу оптимального распределения ассигнований, выделяемых в программный период, на закупку и ремонт вооружения и военной техникой // Вооружение и экономика. 2024. №3(69). С. 13-19.

Original article

On the Issue of Optimal Appropriations Distribution Allocated During the Program Period for the Weapons and Military Equipment Procurement and Repairs

Aleksandr I. Buravlev, Mikhail S. Belorozov, Aleksei V. Mikhalkin

Abstract. The relevance of the article is related to the optimal distribution problem solution of the planned volume of allocations for the state armament program in terms of forces equipping with modern weapons and military equipment and their technical support during the program period. The article proposes an approach based on the military-technical level assessment of military formations at various levels through the combat potential indicators and weapons and military equipment serviceability ratio. This makes it possible to evaluate the combat capabilities of the Armed Forces from a unified position, taking into account the State Armaments Programme activities implementation, and to carry out the optimal distribution of planned allocations across the main areas of the program: the purchase of new equipment, the repair and modernization of equipment in service with the forces, old equipment decommissioning and disposal. This approach is used to the problem solution of optimal of allocated appropriations distribution for the State Armed Forces for the purchase of weapons and military equipment and ensuring the required level of their forces combat readiness. The article has a practical focus and can be used as a basis in the course of budget distribution for the program activities implementation within the framework of the state armament program to equipping the military group and provide its technical availability during operation according to the criterion "maximum technical readiness of military equipment and group combat potential availability for the provision assigned cost".

Keywords: combat readiness of military formations; technical weapons and military equipment availability; technical support of forces; combat potentials of military formations; weapon and military equipment serviceability; military formations equipment

For citation: Buravlev A.I., Belorozov M.S., Mikhalkin A.V. On the Issue of Optimal Appropriations Distribution Allocated During the Program Period for the Weapons and Military Equipment Procurement and Repairs. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2024;69(3): 13-19. (In Russ.).

Введение

Одной из центральных задач программно-целевого планирования развития системы вооружения является поддержание боевой готовности и боевой мощи Вооруженных сил (ВС) РФ в течение программного периода. Достижение требуемого уровня боевой готовности ВС осуществимо при условии обеспечения требуемых уровней технической готовности и военно-технического уровня образцов ВВТ, находящихся на вооружении ВС, а также при соответствующем объеме финансирования мероприятий, обеспечивающих этот уровень в рамках оснащения войск новыми образцами ВВТ и ремонта техники, находящейся в войсках, в рамках ее технического обеспечения. Таким образом, задача оптимального распределения объема ассигнований запланированных на государственную программу вооружения (ГПВ) в части оснащения войск современным вооружением и военной техникой (ВВТ) и их техническое обеспечение играет важную роль для достижения целевых установок выполнения мероприятий ГПВ в части показателей оснащенности, исправности, современности, боеготовности и боевого потенциала ВВТ в составе группировки войск.

Боевые возможности войск характеризуются уровнем их боевой готовности, номенклатурой (типажом), численностью и уровнем исправности ВВТ в составе воинских формирований (ВФ) различного уровня, а также в составе войсковых и стратегических запасов ВС. Совокупность указанных характеристик в обобщенном виде принято выражать термином «боевой потенциал». В настоящее время существуют различные подходы, модели и методики количественной оценки боевого потенциала ВФ [1]. Наиболее простым и физически интерпретируемым является подход, основанный на моделировании противоборства сторон и оценке его результатов [2]. Противоборство всегда связано с поражением объектов противника и нанесением ему определенного ущерба. При этом в первую очередь поражаются активные средства противника (ударные комплексы, системы их управления, системы связи между подразделениями, живая сила, запасы материальных средств и боеприпасов). Именно эти составляющие определяют боевую готовность и способность выполнения поставленных боевых задач. Доля вышепораженных объектов характеризует обобщенный ущерб, нанесенный противнику, т.е. его потери, и возможность его продолжать военное противоборство. При достижении определенных потерь противоборство завершается победой одной из сторон.

Одной из первых моделей противоборства, записанной в строго математической форме, является модель Осипова-Ланчестера [2; 3]. Она оперирует со средней численностью активных средств N противоборствующих сторон и интенсивностью поражения (среднее число пораженных целей за расчетную единицу времени) λ .

Все эти числовые характеристики являются измеримыми с определенной точностью. Уравнения динамики средних численностей противоборствующих сторон имеют вид:

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_2 N_2; \frac{dN_2}{dt} = -\lambda_1 N_1; N_1(0) = N_1; N_2(0) = N_2. \quad (1)$$

Из выражений (1) видно, что именно правые части уравнений количественно характеризуют боевые возможности сторон, т.е. *боевые потенциалы* ВФ.

Используя в качестве показателя боевых потенциалов ВФ величину $\Pi = \lambda N$, можно перейти от уравнений для средних численностей ВФ (1) к уравнениям для их боевых потенциалов ВФ¹:

$$\frac{d\Pi_1}{dt} = -\lambda_1 \Pi_2; \frac{d\Pi_2}{dt} = -\lambda_2 \Pi_1; \Pi_1(0) = \lambda_1 N_1(0); \Pi_2(0) = \lambda_2 N_2(0).$$

Рассмотрим показатель соотношения боевых потенциалов противоборствующих ВФ:

$$K_{\text{БП}} = \frac{\Pi_1}{\Pi_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \cdot \frac{N_1}{N_2} = K_{\text{УС}} \cdot K_{\text{СС}}, \quad (2)$$

который равен произведению коэффициентов соотношения боевой эффективности ударных средств $K_{\text{УС}} = \lambda_1/\lambda_2$ и их численностей в составе ВФ $K_{\text{СС}} = N_1/N_2$. Именно показатель

¹ Брезгин В.С., Буравлев А.И. Уравнения динамики боевых потенциалов противоборствующих группировок // Вооружение и экономика. 2011. №1(13). С. 59-65.

соотношения боевых потенциалов $K_{БП} = \Pi_1/\Pi_2$, а не их абсолютные значения определяют конечный результат противоборства. При $K_{БП} > 1$ бой выигрывает первая сторона, а при $K_{БП} > 2$ по законам военной науки² она одерживает безусловную победу.

Дальнейшее развитие моделей противоборства было направлено на включение в них параметров управления боем (обнаружение целей, целеуказание, целераспределение, маневрирование), управления огнем (стрельба серией, залпами), восполнения боекомплектов (живой силы, восстановление связи), маскировки, создания помех и пр.

Другим направлением оценки боевых возможностей образцов ВВТ и обеспечивающих их средств является оценка их военно-технического уровня (ВТУ) по известным тактико-техническим характеристикам (ТТХ) относительно некоторого эталонного образца, принятого за базу сравнения. В качестве эталонного образца принимается современный зарубежный образец-аналог. Далее формируется мультипликативная степенная свертка [1]:

$$K_{ВТУ} = \prod_{i=1}^m \left(\frac{X_i}{X_i^3} \right)^{\alpha_i}; \quad 0 < \alpha_i < 1; \quad \sum_{i=1}^m \alpha_i = 1, \quad (3)$$

где α_i – показатель влияния тактико-технической характеристики X_i на боевую эффективность образца ВВТ, определяемый либо с помощью моделирования процессов боевого функционирования образца, либо экспертным путем.

Исследования показывают, что между показателями $K_{БП}$ и $K_{ВТУ}$ различных образцов ВВТ существует монотонная зависимость [4; 5].

При этом сохраняются пропорции $K_{БП}/K_{БП}^3 = \gamma(K_{ВТУ}/K_{ВТУ}^3)$, где γ – коэффициент пропорциональности, соответствующий определенной номенклатуре ВВТ.

В рамках задачи программно-целевого планирования в соответствии с Методикой определения уровня совершенства ВВТ³ все образцы по уровню современности подразделяются на три непересекающихся класса: устаревшие образцы – $K_{ВТУ} < 0,8$; современные образцы – $0,8 \leq K_{ВТУ} \leq 1,2$; перспективные образцы – $K_{ВТУ} > 1,2$. Оценка ВТУ воинских формирований различного уровня проводится на основе показателей боевого потенциала и коэффициента исправности ВВТ⁴. Коэффициент ВТУ образца ВВТ определяется соотношением показателей боевого потенциала исследуемого образца $P_{ВВТ}$ и показателя боевого потенциала его зарубежного аналога $P_{ВВТ}^3$, т.е. $K_{ВТУ} = P_{ВВТ}/P_{ВВТ}^3$. Это позволило с единых позиций оценивать боевые возможности ВС с учетом реализации мероприятий ГПВ и осуществлять оптимальное распределение выделенных на нее ассигнований по основным направлениям программы: закупку новой техники, ремонт и модернизацию техники, находящейся в войсках, списание и утилизацию старой техники.

Данный подход используется для решения задачи оптимального распределения запланированных ассигнований на ГПВ для закупки ВВТ и обеспечения требуемого уровня их боевой готовности в войсках.

1 Постановка задачи оптимального распределения объема ассигнований, запланированных на ГПВ, в части закупки и технического обеспечения ВВТ

Рассматривается группировка войск (ГВ), в составе которой для решения боевых задач требуется иметь m типов ударных комплексов ВВТ в количестве N_i , ($i = \overline{1, m}$). Каждый тип ВВТ характеризуется показателем боевого потенциала $P_{ВВТ}$, показателем технической готовности к применению $R_{ТГ}$, календарным сроком службы $t_{СС}$ и техническим ресурсом по наработке T_p , стоимостью закупки C_3 , стоимостью технического обслуживания и ремонта (ТОиР) $C_{ТОР}$ в процессе эксплуатации в войсках [1].

² Безлепкин Н.И. История и философия военной науки: учеб. пособие. СПб.: Лань, 2024. 332 с.

³ Методика утверждена установленным порядком в 2015 году.

⁴ Буравлев А.И. Методика оценки военно-технического уровня парка ВВТ в ходе реализации программных мероприятий по их закупке и ремонту // Вооружение и экономика. 2016. №4(37). С. 91-103.

Изменение боевых возможностей группировки войск за счет реализации ГПВ можно оценить коэффициентом ВТУ образцов ВВТ, уровня их исправности и оснащенности ВВТ относительно их требуемого состояния⁵:

$$K_{ГВ} = \frac{P_{ГВ}}{P_{ГВ}^T} = \frac{\sum_{i=1}^m P_{ВВТi} R_{ТГi} N_i}{\sum_{i=1}^m P_{ВВТi}^T R_{ТГi}^T N_i^T} = \sum_{i=1}^m \alpha_i K_{ВТУi} K_{ТГi} K_{ОСi}, \quad (4)$$

где $\alpha_i = (P_{ВВТi}^T K_{ТГi}^T N_i^T) / (\sum_{i=1}^m P_{ВВТi}^T K_{ТГi}^T N_i^T)$; $\sum_{i=1}^m \alpha_i = 1$ – требуемая доля образцов ВВТ i -й номенклатуры в составе ГВ (структурный параметр ГВ); $K_{ВТУi} = P_{ВВТi} / P_{ВВТi}^T$ – относительный коэффициент боевого потенциала ВВТ; $K_{ТГi} = R_{ТГi} / R_{ТГi}^T$ – относительный коэффициент технической готовности ВВТ; $K_{ОСi} = N_i / N_i^T$ – относительный коэффициент оснащенности группировки войск соответствующей номенклатурой ВВТ.

Индексом Т обозначены требуемые параметры ВВТ, задаваемые программой ГПВ. В качестве требуемых значений параметров ВВТ могут выступать характеристики зарубежных образцов-аналогов. Если $K_{ГВ} \geq 1$, то это означает, что ВТУ группировки соответствует требуемому уровню или превышает его.

В составе системы вооружения группировки могут находиться различные образцы ВВТ в зависимости от их ВТУ.

Среднее значение показателя ВТУ образцов ВВТ в составе группировки войск можно определить, разделив величину боевого потенциала группировки на ее численность:

$$\bar{K}_{ВТУ} = \frac{\sum_{i=1}^m K_{ВТУi} K_{Гi} N_i}{\sum_{i=1}^m N_i} = \sum_{i=1}^m K_{ВТУi} K_{Гi} \delta_i, \quad (5)$$

где $\delta_i = N_i / \sum_{i=1}^m N_i$ – доля i -го типа ВВТ в составе группировки.

Стоимость оснащения группировки комплектами ВВТ вместе с обеспечивающими средствами составляет⁶:

$$C_{ГВ} = \sum_{i=1}^m C_{3i} N_i, \quad (6)$$

где $C_{ВВТi}^* = C_{УС}(1 + \delta_{ОС}) + C_{ЛС} \vartheta_{УС}$ – стоимость оснащения ВФ единичным боевым комплектом ВВТ вместе с обеспечивающими средствами и личным составом; $\delta_{ОС} = C_{ОС}(N_{ОС}) / C_{УС}$ – относительная стоимость обеспечивающих средств; $\vartheta_{УС} = M_{ЛС} / N_{УС}$ – показатель технического совершенства боевых средств, численно равный количеству личного состава, необходимого для эксплуатации и применения одного боевого средства.

Уровень технической готовности образцов ВВТ к применению определяется запасом его технического ресурса, безотказностью в процессе боевого функционирования и его восстанавливаемостью в случае его отказа или повреждения. Он также имеет две степени готовности: постоянная готовность – $K_{ТГ} \geq 0,8$, повышенная готовность к применению – $K_{ТГ} \geq 0,9$.

Поддержание технической готовности ВВТ осуществляется проведением технического обслуживания (контроль состояния агрегатов, настройка приборов, регулировка механизмов и пр.), текущего ремонта (замена отказавших агрегатов) и восстановительного ремонта (замена агрегатов, выработавших технический ресурс, профилактическое обслуживание, отладка систем).

Интенсивность потока отказов изделий ВВТ в процессе жизненного цикла принято описывать линейной зависимостью [6]:

$$\lambda(t) = \lambda_0 + \alpha t,$$

где λ_0 – интенсивность внезапных отказов; α – скорость нарастания постепенных отказов.

⁵ Буравлев А.И., Гладышевский В.Л., Пьянков А.А. Методика формирования агрегированного показателя эффективности реализации Государственной программы вооружений // Вооружение и экономика. 2013. №3(24). С. 6-10.

⁶ Буравлев А.И. Военно-технические и военно-экономические аспекты оценки боевых возможностей группировок войск в задачах программно-целевого планирования // Вооружение и экономика. 2021. №1(55). С. 150-170.

В случае появления отказа выполняется текущий ремонт изделия путем замены отказавшего элемента на исправный (работоспособный). Время выполнения текущего ремонта существенно меньше наработки до отказа, поэтому восстановление работоспособности изделия принимается практически мгновенным.

Для устранения причин роста интенсивности отказов периодически проводится восстановительный ремонт (средний и капитальный). Он включает в себя диагностику технического состояния, профилактические замены составных частей, регулировочные и наладочные работы. Восстановительный ремонт осуществляется силами сервисных центров предприятий-изготовителей, при этом восстановление ВВТ осуществляется до максимального уровня его готовности. Продолжительность восстановительного ремонта $\tau_{БР}$ может составлять сравнимую с интервалом наблюдения величину.

Динамика изменения технической готовности изделий часто моделируется дискретно-непрерывным марковским процессом с вероятностями состояний изделий ВВТ по годовым срезам наблюдений $t = 0, 1, \dots, T$ программного периода [6]:

$$K_{ТГ}(t) = \left\{ \begin{array}{ll} \exp\left(-\frac{\alpha t^2}{2}\right), & t \in [(k-1)t_{MP}, kt_{MP}] \\ \min\left(1 - \frac{\tau_{БР}}{t}; 1\right), & kt_{MP} < t < (k+1)t_{MP} \end{array} \right\}; k = 1, 2, \dots, T, \quad (7)$$

где t_{MP} – межремонтный период;

$\tau_{БР}$ – средняя продолжительность восстановительного ремонта.

На рисунке 1 показана динамика изменения коэффициента технической готовности парка ВВТ по годам программного периода и его среднее значение за программный период.

В составе парка ВВТ могут находиться изделия различных «возрастных» групп [6]. Их «возраст» определяется временем поступления в состав парка относительно текущего момента времени. Для каждой «возрастной» группы изделий должен рассчитываться свой коэффициент технической готовности. Обозначим $\delta_{t-\tau}$, $\tau = 0, 1, 2, \dots, l$ долю ВВТ с возрастом $t - \tau$ в составе парка ВВТ. Тогда можно определить среднее значение коэффициента технической готовности изделий в парке:

$$\bar{K}_{ТГ}(t) = \sum_{\tau=0}^l \delta_{t-\tau} K_{Г}(t - \tau). \quad (8)$$

Проведение ТОиР требует затрат материальных ресурсов и времени. Стоимость восстановления изделий в процессе эксплуатации, приведенная к стоимости их закупки, может быть рассчитана по формуле [6]:

$$\bar{C}_3(t) = \frac{\sum_{i=1}^m \beta_i(t) C_{3i} N_i(t)}{\sum_{i=1}^m N_i(t)} = \sum_{i=1}^m \beta_i(t) C_{3i} \delta_{N_i}(t) (1 + E)^t, \quad (9)$$

где $\delta_{N_i}(t) = N_i(t) / (\sum_{i=1}^m N_i(t))$ – доля изделий i -го типа в составе парка; E – индекс –дефлятор стоимости затрат; $\beta_i(t) = (1 + k_{C_i}(t) + k_{ТОиР_i} \sum_{\tau=1}^l (1 - K_{Г_i}(t - \tau)))$ – возрастной коэффициент затрат на эксплуатацию единичного образца ВВТ определенного типа; $k_C, k_{ТОиР}$ – коэффициенты затрат на содержание и ТОиР единичного образца.

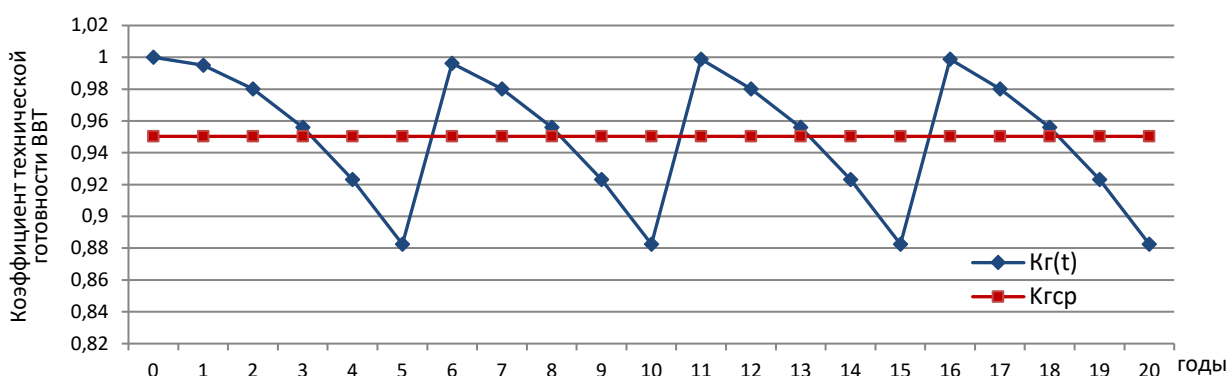


Рисунок 1 – Динамика изменения коэффициента технической готовности парка ВВТ

Суммарные затраты на закупку ВВТ и их техническое обеспечение в составе ГВ в течение заданного программного периода составят:

$$C_{ГВ} = \sum_{i=1}^n \beta_i(t) C_{3i} \delta_{N_i}(t).$$

Распределение запланированного объема ассигнований на реализацию программных мероприятий по оснащению группировки ВВТ и обеспечению его технической готовности в процессе эксплуатации должно осуществляться по критерию «обеспечение максимальной технической готовности ВВТ и боевого потенциала группировки при заданной стоимости затрат на их обеспечение».

В качестве оптимизируемых параметров выступают:

N_i , ($i = \overline{1, m}$) – численность ВВТ в составе группировки;

$K_{ВВТ_i}$ – состав парка ВВТ по ВТУ ВВТ;

характеристики надежности и ремонтпригодности образцов ВВТ: λ – интенсивность отказов изделия; t_{MP} – межремонтный период; τ_{TP} , τ_{BP} – среднее время выполнения текущего и восстановительного ремонта.

Исходными данными являются:

- типаж ВВТ, необходимый для оснащения группировки войск;
- объем запланированных ассигнований на закупку и восстановительный ремонт ВВТ по годам программного периода;
- объем запланированных ассигнований на обеспечение эксплуатации ВВТ в войсках;
- возможности промышленности по производству и капитальному ремонту ВВТ;
- организационно-штатные возможности войсковых частей по обеспечению эксплуатации ВВТ.

Математическая формулировка оптимального распределения запланированных ассигнований на оснащение и техническое обеспечение ВВТ в составе группировки войск имеет следующий вид:

$$\Delta K_{ГВ}(t) = \max_{m, K_{ВВТ_i}, N_i, K_{Г_i}, K_{ОС_i}} \sum_{i=1}^m \alpha_i K_{ВВТ_i} K_{Г_i} (T-t) K_{ОС_i} (T-t); t = 0, 1, 2, \dots, T;$$

$$C_{ГВ}(t) = \sum_{i=1}^m C_{ВВТ_i} N_i(t) \leq C_B(t);$$

$$K_{ГВ}(T) = \sum_{t=0}^T \Delta K_{ГВ}(t) \geq K_{КГ}^T;$$

$$C_{ГВ}(T) = \sum_{t=1}^T \Delta C_{ГВ}(t) = C_B(T).$$

Сформулированная задача является задачей динамического программирования с заданными значениями целевой функции и ресурсных ограничений на конце и в ходе программного периода. Ее решение существует, если текущие и конечные граничные значения будут согласованы между собой.

2 Методика решения задачи

Рассмотрим приближенный алгоритм решения данной задачи. Он состоит из двух этапов.

Первый этап.

Распределение объема ассигнований по годам программного периода с учетом вклада ВВТ в обеспечение боевого потенциала группировки войск⁷:

$$C_{Б_i}(t) = \alpha_i \frac{C_B(T)}{T}, \tag{10}$$

где $\alpha_i = \frac{P_{ВВТ_i}}{C_{ВВТ_i}} / \sum_{i=1}^m \frac{P_{ВВТ_i}}{C_{ВВТ_i}}$ – коэффициент вклада ВВТ i -го типа в боевой потенциал группировки войск, $\sum_{i=1}^m \alpha_i = 1$.

Второй этап.

Для каждого программного года рассчитывается необходимая численность закупки и ремонта ВВТ.

⁷ Буравлев А.И., Нестеров А.А. Оптимизация типажа и численности парка ВВТ по критерию «эффект-затраты» с учетом требования его современности // Вооружение и экономика. 2022. №4(62). С. 5-13.

Представим общую численность изделий ВВТ i -го типа $N_i(t)$ в виде суммы численностей покупаемых изделий N_{3i} и численности изделий, направляемых на восстановительный ремонт N_{BPi} :

$$N_i(t) = N_{3i}(t) + N_{BPi}(t).$$

Общая численность ВВТ $N_i(t)$ i -го типа определяется объемом ассигнований, запланированным на закупку и восстановительный ремонт:

$$N_i(t) = \frac{C_{Bi}(t)}{C_{BBTi}}; (i = \overline{1, m}). \quad (11)$$

Выразим боевой потенциал ВФ по i -му типу ВВТ как сумму боевых потенциалов покупаемых и ремонтируемых ВВТ:

$$P_{B\Phi i}(t) = K_{\Gamma i}^3(t)P_{BBTi}^3 N_{3i}(t) + K_{\Gamma i}^P(t)P_{BBTi}^P N_{BPi}(t). \quad (12)$$

Теперь на каждом шаге t программного периода можно осуществлять выбор численности закупок и ремонта ВВТ i -го типа при заданном объеме ассигнований C_{Bi} и расчетной стоимости их закупки и восстановительного ремонта ВВТ.

Выбор численности закупок и ремонта ВВТ производится в результате решения условно оптимальной задачи в обратном времени на каждом шаге программного периода:

$$P_{B\Phi i}(t) = \max_{N_{3i}} \{K_{\Gamma i}^3(t)P_{BBTi}^3 N_{3i}(t) + K_{\Gamma i}^{BP}(t)P_{BBTi}^{BP} [N_i - N_{3i}(t)]\}; N_i = \frac{C_{Bi}}{C_{BBTi}}; t = T, T-1, \dots, 0, \quad (13)$$

где $C_{BBTi} = C_{BBTi}^3 \delta_{3i} + C_{BBTi}^{BP} \delta_{BPi}$; $\delta_{3i} = N_{3i}/N_i$, $\delta_{BPi} = N_{BPi}/N_i$ – долевые численности ВВТ i -го типа.

Значения коэффициентов готовности рассчитываются по формуле (7) в зависимости от текущего времени и возраста изделий ВВТ.

На последнем шаге ($t = T$) ремонт ВВТ, выработавших ресурс, не имеет смысла. Поэтому $N_{BPi} = 0$ и весь запланированный объем ассигнований расходуется на только на закупку изделий ВВТ. На предпоследнем шаге ($t = T - 1$) выбор уже осуществляется из условия достижения максимального боевого потенциала ВФ в зависимости от соотношения численностей закупок и ремонта ВВТ. Двигаясь в обратном времени до начального момента ($t = 0$), получаем условно оптимальные решения по закупкам и ремонту ВВТ. При $t = 0$, задаваясь начальными параметрами $K_{\Gamma i}(0)$, $P_{BBTi}(0)$, $\delta_{3i}(0)$, по формулам (10), (11), (12) находим безусловные численности закупок и ремонта ВВТ по годам программного периода.

Рассмотренную задачу целесообразно использовать при разработке опорного плана ГПВ для заданного типажа ВВТ.

Список источников

1. Методы военно-научных исследований систем вооружения / Под общ. ред. В.М. Буренка. М.: Граница, 2017. 511 с.
2. Методология программно-целевого планирования развития системы вооружения на современном этапе / Под общ. ред. В.М. Буренка. М.: Граница, 2013. 519 с.
3. Вентцель Е.С. Введение в исследование операций. М.: Сов. радио, 1964. 388 с.
4. Методы оценки эффективности вооружения и военной техники / Под ред. В.М. Буренка. Изд. 2-е доп. М.: Граница, 2022. 264 с.
5. Семенов С.С. Оценка качества и технического уровня сложных систем: Практика применения метода экспертных оценок. М.: URSS, 2019. 352 с.
6. Буравлев А.И., Белорозов М.С. Модель управления технической готовностью ВВСТ при планировании и реализации Государственной программы вооружений // Вооружение и экономика. 2022. №1(59). С. 12-32.

Информация об авторах

А.И. Буравлев – доктор технических наук, профессор.
 М.С. Белорозов – SPIN код автора 2621-7897.
 А.В. Михалкин – SPIN код автора 8081-3284.

Научная статья
УДК 355.02

Каталогизация, унификация и стандартизация оборонной продукции в едином контуре управления номенклатурой, поставляемой по государственному оборонному заказу

Антон Александрович Пьянков, Сергей Александрович Звягинцев,
Игорь Николаевич Филатов

Аннотация. Современные тенденции развития военно-политических отношений обуславливают необходимость совершенствования механизмов управления развитием системы вооружения и интенсификации выпуска оборонной продукции. Указанные процессы требуют качественного информационного и ресурсного обеспечения организаций оборонно-промышленного комплекса, являющихся исполнителями государственного оборонного заказа, основанного на применении федерального каталога продукции для федеральных нужд, представляющего собой единую информационную и классификационную основу проведения работ по унификации и стандартизации оборонной продукции.

Ключевые слова: государственный оборонный заказ; информационный ресурс; система каталогизации; федеральный каталог продукции; унификация; стандартизация

Для цитирования: Пьянков А.А., Звягинцев С.А., Филатов И.Н. Каталогизация, унификация и стандартизация оборонной продукции в едином контуре управления номенклатурой, поставляемой по государственному оборонному заказу // Вооружение и экономика. 2024. №3(69). С. 20-27.

Original article

Cataloging, Unification and Standardization of Defense Products in a Single Control Loop for Items Supplied under State Defense Orders

Anton A. Piankov, Sergei A. Zviagintsev, Igor N. Filatov

Abstract. Modern trends in the development of military political relations determine the need to improve mechanisms for the weapons systems development management and defense production intensification. These processes require high-quality information and resource support for the defense-industrial complex organizations that are executors of the state defense order, based on the usage of the federal products catalog for federal needs, which represents a unified information and classification basis for carrying out of work on the defense products unification and standardization.

Keywords: state defense order; information resource; cataloging system; federal product catalog; unification; standardization

For citation: Piankov A.A., Zviagintsev S.A., Filatov I.N. Cataloging, Unification and Standardization of Defense Products in a Single Control Loop for Items Supplied under State Defense Orders. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2024;69(3): 20-27. (In Russ.).

Необходимым условием безопасности Российской Федерации является готовность Вооруженных Сил к быстрому и эффективному реагированию на новые вызовы. Сегодняшние мировые события показывают, что в любом вооруженном конфликте одним из основных аргументов является военно-техническое превосходство. Первостепенное значение при этом приобретают проблемы гармоничного развития всех видов Вооруженных Сил и родов войск, оперативного оснащения их современными образцами вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ), обеспечения своевременного ремонта и сервисного обслуживания.

Возросшие требования к повышению оперативности сроков разработки перспективных образцов ВВСТ, их изготовления и поставки в войска, а также значительному увеличению их количества обусловили необходимость создания единого информационного ресурса, содержащего сведения о промышленной продукции, разрабатываемой и поставляемой в рамках государственного оборонного заказа (ГОЗ) как финальных изделий, так и составных частей (СЧ) и комплектующих изделий межотраслевого применения (КИМП). Своевременно принятый Федеральный закон от 27 ноября 2023 г. №555-ФЗ¹ регламентирует создание федеральной системы

¹ Федеральный закон от 27 ноября 2023 г. №555-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О государственном оборонном заказе».

каталогизации продукции, целью которой является формирование и ведение федерального каталога продукции (ФКП) для федеральных нужд, позволяющего осуществлять информационное обеспечение государственных заказчиков, головных исполнителей и исполнителей систематизированными сведениями о промышленной продукции, поставляемой по ГОЗ, о ее технических и качественных характеристиках, условиях эксплуатации, ее разработчиках, изготовителях (поставщиках) при формировании, размещении и выполнении заданий ГОЗ.

Наличие такого информационного ресурса при условии его системного наполнения обеспечит как заказчиков, так и разработчиков актуальными и достоверными сведениями об имеющейся промышленной продукции, применяемой при разработке и изготовлении образцов ВВСТ и военно-технического имущества в рамках ГОЗ, что должно положительно сказаться на сокращении сроков поиска необходимых составных частей и комплектующих в процессе создания нового вооружения, а также при изготовлении и ремонте за счет быстрого поиска аналогов составных частей, например, при отсутствии оригинальных изделий [1].

Еще одним аргументом в пользу создания такого информационного ресурса является неоправданный рост номенклатуры промышленной продукции, СЧ и КИМП, разрабатываемых в составе образцов ВВСТ в рамках ГОЗ, по причине воздействия факторов различного характера.

Во-первых, этому способствует действующий механизм ценообразования на продукцию по ГОЗ, стимулирующий головных исполнителей самостоятельно выполнять максимальное количество работ при минимальном привлечении соисполнителей². В данной ситуации головной исполнитель может рассчитывать на получение прибыли в размере до 30% от собственных затрат, в то время как привлечение соисполнителей позволяет получить ему не более 1% прибыли от принесенных затрат, что, естественно, делает привлечение в кооперацию исполнителей невыгодным для головного исполнителя, так как снижает его собственную базу рентабельности. Следствием этого является расширение номенклатуры вновь создаваемой промышленной продукции вместо использования уже имеющихся наработок, которые могли бы существенно снизить себестоимость работ, связанных с созданием образца ВВСТ.

Во-вторых, на сегодняшний день отсутствует централизованная системная работа на межвидовом уровне по управлению номенклатурой СЧ и КИМП, применяемых в составе образцов ВВСТ. При этом значимость деятельности по управлению номенклатурой трудно переоценить. С практической точки зрения отсутствие действенного механизма контроля за расширением номенклатуры промышленной продукции СЧ и КИМП приводит к значительному удорожанию финальных изделий, а также снижению их качества. Это проявляется на различных стадиях жизненного цикла изделий. Например, СЧ, КИМП или материалы, разработанные ранее, появляются вновь в том же или слегка измененном (вплоть до обозначений) виде в качестве «впервые» разработанных, но уже в других ОКР и для иных (или даже этих же) целей.

Обычным явлением считается и такая ситуация, когда ни заказчик, ни разработчик не знают, в силу скудности информации, о наличии аналогичного (идентичного) изделия и тратят силы и средства на разработку нового, по существу не отличающегося, а в ряде случаев менее качественного по своим показателям от уже имеющегося и апробированного в эксплуатации изделия. Без наличия достоверных сведений (характеристик и др.) о таких однородных (идентичных) изделиях и проведения их сравнительного анализа заказчик (а во втором случае и разработчик) о факте «псевдоразработки» и (или) наличия серийно выпускаемого аналога практически никогда не узнает. И в том, и в другом случае наличие дублирования работ и неоправданный рост многообразия изделий, СЧ и КИМП, что ведет вначале к увеличению стоимости ОКР без какого-либо прироста показателей качества изделий, а затем и к увеличению стоимости эксплуатации финального изделия³. Таким образом, в общем понимании целями управления номенклатурой промышленной продукции целесообразно полагать:

² Постановление Правительства РФ от 2 декабря 2017 г. №1465 «О государственном регулировании цен на продукцию, поставляемую по государственному оборонному заказу, а также о внесении изменений и признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации».

³ Стандартизация и унификация оборонной продукции: учеб. пособие / Под ред. Б.В. Бойцова. М.: АСМС, 2016. 184 с.

- сокращение сроков на разработку и освоение производства продукции;
- развитие внутри- и межотраслевой специализации и кооперирования;
- повышение качества продукции и эффективности ее использования;
- упрощение снабжения сырьем, материалами, полуфабрикатами, комплектующими изделиями;
- сокращение издержек, связанных с неоправданным разнообразием выпускаемой продукции;
- улучшение организации специализированного обслуживания и ремонта выпускаемых изделий.

Перечисленные цели достигаются за счет применения различных форм стандартизации, одной из наиболее эффективных среди которых является унификация, под которой понимается рациональное уменьшение числа типов, видов, размеров объектов функционального назначения. Унификация направлена на устранение излишнего многообразия изделий промышленной продукции и процессов их изготовления. В процессе развития унификации все более четко определяются два основных ее направления: ограничительное и компоновочное.

Ограничительное направление характеризуется проведением анализа номенклатуры выпускаемых изделий и ограничение ее до минимально необходимой номенклатуры типоразмеров изделий и их элементов. Компоновочное направление характеризуется проведением анализа потребности и выявлением номенклатуры изделий, необходимых народному хозяйству. Результатом этого анализа является создание новой линейки промышленной продукции и ее промежуточных типоразмеров на основе компоновки из определенного набора унифицированных узлов, агрегатов или блоков, но в пределах стандартных действующих или создаваемых типоразмерных рядов⁴. В отличие от современного состояния вопроса в рассматриваемой области, деятельность в области унификации в нашей стране в период СССР велась достаточно активно, была обеспечена организационно, методически, технически и информационно и имела положительные результаты.

Каждая ведущая отрасль промышленности в период разработки программ унификации и специализации производства проводила анализ продукции других ведущих министерств с целью выделения однородных составных частей, унификация которых создаст предпосылки для межотраслевой специализации производства. Предложения по межотраслевой унификации продукции машиностроения, как правило, включались в народнохозяйственные и отраслевые программы унификации и специализации производства. При этом вопросы межотраслевой специализации и кооперирования производства продукции (изделия, сборочные единицы, детали и материалы) межотраслевого применения решались в установленном порядке в отраслях машиностроения.

Также обеспечивалась отраслевая унификация, при которой научно-техническое и организационно-методическое руководство работами по отраслевой унификации осуществляли конкретные министерства, головные и базовые организации по стандартизации (ГОС и БОС), а также заводская унификация, направленная на реализацию требований к продукции, технологическим процессам и средствам ее производства на предприятии (объединении), выпускающем и (или) ремонтирующем продукцию машиностроения.

В настоящее время работы по техническому регулированию и стандартизации в Российской Федерации регламентируются Федеральным законом от 15 декабря 2002 г. №184-ФЗ⁵, Федеральным законом от 29 июня 2015 г. №162-ФЗ⁶, которые предусматривают оптимизацию и унификацию номенклатуры продукции, обеспечение ее совместимости и взаимозаменяемости, сокращение сроков ее создания, освоения в производстве, а также затрат на эксплуатацию и утилизацию. Документы более низкого уровня и стандарты должны реализовывать данное положение закона. Однако действующие стандарты в данной области, во-первых, носят добровольный характер применения, что в силу отсутствия заинтересованности предприятий в работах по унификации на межотраслевом уровне, не приносит ожидаемого эффекта от реализации данной нормы закона. Во-вторых, данные работы не обеспечены методиками их выполнения и инструментами контроля.

⁴ Сергеев А.Г., Терегеря В.В. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник. М.: Юрайт, 2011. 820 с.

⁵ Федеральный закон от 15 декабря 2002 г. №184-ФЗ «О техническом регулировании».

⁶ Федеральный закон от 29 июня 2015 г. №162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации».

Так, например, ГОСТ 15.016-2016⁷ предусматривает выполнение требований стандартизации, унификации и каталогизации при проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области изделий машиностроения и приборостроения. Данные требования заключаются в установлении количественных показателей стандартизации и унификации изделия, в том числе требований совместимости, обеспечивающих повышение эффективности применения по назначению, а также, при необходимости, требований применения унифицированного и типового оборудования, технологической оснастки в процессе производства изделия, а также в процессе его эксплуатации и ремонта. При этом, во-первых, отсутствует соответствующий методический аппарат, обеспечивающий выполнение таких требований, а также реализацию их результатов. Во-вторых, по существу данные работы ориентированы на унификацию только внутри организации, их результаты не систематизируются и не подвергаются анализу для последующего использования на межотраслевом уровне.

В организационном плане в настоящее время на федеральном уровне действует ГОСТ Р 1.15-2017⁸, устанавливающий порядок создания и функционирования служб стандартизации в организациях, осуществляющих деятельность в области создания и производства изделий. В данном документе определены цели функционирования таких служб, касающиеся унификации, однако не установлены конкретные задачи в данной области, которые позволили бы реализовать результаты унификации. Кроме того, в данном стандарте не затрагиваются вопросы отраслевой и межотраслевой унификации.

Вместе с тем анализ выполнения работ по унификации в СССР показал, что унификация как форма стандартизации занимает ключевое место в вопросах учета промышленной продукции и управление ею. При этом решение задач унификации базируется на сборе, обработке и исследовании исходных данных о характеристиках СЧ, КИМП и материалов⁹. Одной из проблем, не позволяющей проводить эффективно работы по управлению промышленной продукцией на государственном уровне в настоящее время, является отсутствие соответствующей нормативной базы и сложность в организации сбора, обобщения и проведения анализа, учитывая большое количество организаций промышленности и объем выпускаемой номенклатуры промышленной продукции в масштабе государства.

В последнее время значительно развились информационные технологии сбора, обработки и хранения информации. В соответствии с Концепцией технологического развития на период до 2030 года¹⁰, одной из задач технологического развития является создание цифровых платформ (маркетплейсов) для взаимодействия крупных заказчиков и разработчиков высокотехнологичной продукции, обладающих функционалом поиска услуг разработчиков (изготовителей, поставщиков) в соответствии с запросами промышленных предприятий, обеспечивающих программу локализации продукции. Это обусловлено необходимостью обеспечения организаций промышленности сведениями о разрабатываемой и эксплуатируемой промышленной продукции, технологиях их разработки и производства, существующих КИМП, материалах и ЭКБ.

В Минобороны России система каталогизации предметов снабжения Вооруженных Сил РФ (СК ПС ВС) существует и успешно функционирует уже более 20 лет. Устоявшаяся совокупность нормативных и методических документов, а также территориально-распределенный программно-технический комплекс системы каталогизации предметов снабжения ВС РФ (ПТКА СК ПС) обеспечивает устойчивое наполнение каталога предметов снабжения ВС РФ (каталог ПС) в среднем ежегодно сведениями о более 9 тыс. предметах снабжения ВС РФ, как финальных изделий, так и СЧ и КИМП, используемых в составе финальных изделий. В первую очередь – это данные о разработчиках (изготовителях, поставщиках), данные о составе и входимости, непосредственно сами каталожные описания – набор установленных

⁷ ГОСТ 15.016-2016 Система разработки и постановки продукции на производство. Техническое задание. Требования к содержанию и оформлению. М.: Стандартинформ, 2017. 26 с.

⁸ ГОСТ Р 1.15-2017 Стандартизация в Российской Федерации. Службы стандартизации в организациях. Правила создания и функционирования. М.: Стандартинформ, 2019. 15 с.

⁹ Р 50-54-102-88 Порядок работ по межотраслевой, отраслевой и заводской унификации. М.: ВНИИНМАШ, 1989. 26 с.

¹⁰ Утв. распоряжением Правительства РФ от 20 мая 2023 г. №1315-р.

органами военного управления тактико-технических характеристик (ТТХ) и их значений. Данный набор формируется на основе стандартных форматов описания, которые представляют собой нормативный документ Минобороны России, содержащий систематизированный перечень характеристик, присущих однородной группировке продукции. Основной целью функционирования СК ПС ВС определено повышение эффективности разработки, производства, закупки, эксплуатации, ремонта и утилизации ВВСТ за счет централизованного управления номенклатурой и качеством предметов снабжения на основе единой системы формализованного описания, классификации, кодирования и учета их номенклатуры и характеристик [2].

Описание однородной промышленной продукции единым перечнем характеристик дает возможность проведения сопоставительного анализа однородных изделий, в результате которых можно выявлять образцы, составные части и комплектующие с наилучшими тактико-техническими характеристиками, или наоборот – устаревшие, то есть управлять номенклатурой промышленной продукции [3]. В результате проведения такого вида работ можно добиться значительного снижения расходов на производство и эксплуатацию новых образцов ВВСТ за счет включения в их конструкцию заимствованной продукции из ранее спроектированной и находящейся на вооружении техники. По сути каталог ПС является основой и составной частью создаваемого в рамках федеральной системы каталогизации продукции ФКП, представляющего собой единую информационную и классификационную основу для проведения работ по унификации и стандартизации оборонной продукции, а также СЧ и КИМП двойного применения (назначения), используемых в составе финальных образцов ВВСТ (рисунок 1).

При каталогизации создаваемых образцов ВВСТ в процессе их разработки осуществляется классификация оборонной продукции, входящей в состав этих образцов в соответствии с классами ЕКПС. Таким образом, формируются однородные группировки продукции с единообразным описанием их характеристик, что, в свою очередь, способствует созданию условий для применения различных методов стандартизации, в первую очередь селекции¹¹ и симплификации¹² объектов стандартизации. Благодаря этой деятельности формируются ограничительные перечни комплектующих изделий для конечной готовой продукции, альбомы типовых конструкций изделий, типовые формы технических, управленческих и прочих документов. Кроме того, формируются перечни неконкурентной продукции, продукция, которая признается нецелесообразной для дальнейшего производства и применения в производстве, поскольку есть более совершенные ее аналоги [4].

Сопоставительный анализ однородной продукции, осуществляемый на исходных данных создаваемого ФКП, позволит также проводить работы по унификации и оптимизации СЧ и КИМП, которые тоже относятся к методам стандартизации оборонной продукции. При унификации формируются предложения по рациональному сокращению числа типов деталей, агрегатов одинакового функционального назначения. Оптимизация объектов стандартизации заключается в нахождении оптимальных главных параметров (параметров назначения), а также значений всех других показателей качества и экономичности. В отличие от работ по селекции и симплификации, базирующихся на несложных методах оценки и обоснования принимаемых решений, например, экспертных методах, оптимизацию объектов стандартизации осуществляют путем применения специальных экономико-математических методов и моделей оптимизации. Целью оптимизации является достижение оптимальной степени упорядочения и максимально возможной эффективности по выбранному критерию. В результате научно обосновывается с использованием математических методов целесообразная номенклатура и численные значения их главных параметров, разрабатываются параметрические и типоразмерные ряды СЧ и КИМП (унифицированных групп однородной продукции) и ограничение целесообразным минимумом номенклатуры разрешаемых к применению изделий и материалов.

¹¹ Селекция – деятельность, заключающаяся в отборе таких конкретных объектов, которые признаются целесообразными для дальнейшего производства и применения в общественном производстве.

¹² Симплификация – деятельность, заключающаяся в определении таких конкретных объектов, которые признаются нецелесообразными для дальнейшего производства и применения в общественном производстве.

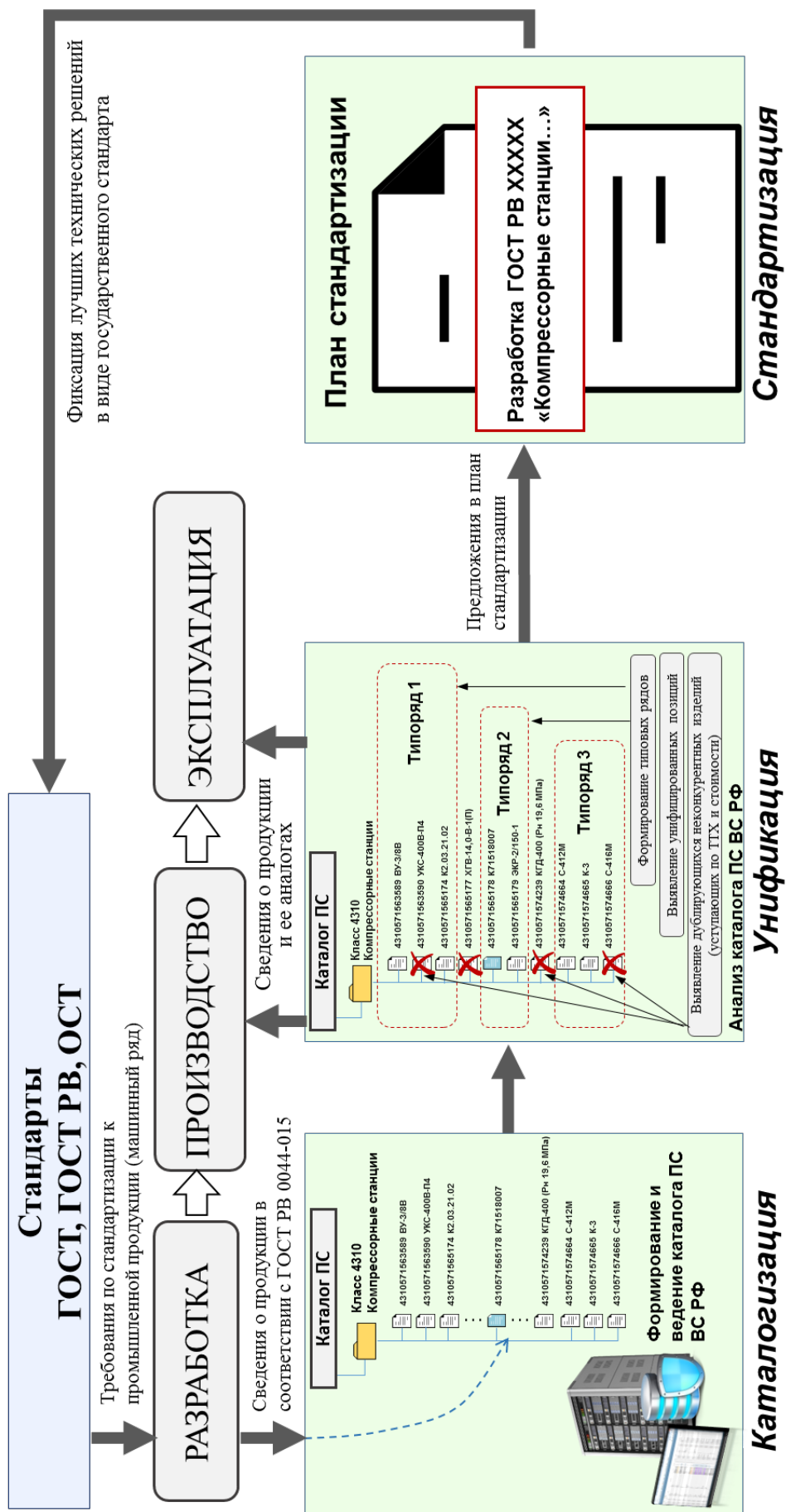


Рисунок 1 – Схема технического регулирования разработки и производства промышленной продукции

Для организации такой работы необходимо установить обязательный порядок применения разделов ФКП как заказчиками, так и исполнителями при формировании, размещении и выполнении заданий ГОЗ, при котором на системном межвидовом уровне обеспечивался бы централизованный анализ разделов ФКП на предмет выявления дублирующихся разработок, морально устаревших СЧ и КИМП, уступающих по ТТХ и стоимости своим аналогам, определения научно-обоснованных типовых рядов и прочее.

Результаты этой работы являются основой для формирования и дальнейшей реализации программ и планов стандартизации оборонной продукции. Таким образом, в едином контуре замыкаются процессы каталогизации, унификации и стандартизации оборонной продукции. С одной стороны, это обеспечивает обоснованность разрабатываемых стандартов на оборонную продукцию, основанных на исследовании номенклатуры однородной продукции, а с другой стороны, применение этих стандартов обеспечит сокращение типажа номенклатуры СЧ и КИМП за счет использования при разработке новых образцов ВВСТ уже существующих апробированных стандартизованных технических решений.

На сегодняшний день в Минобороны России в соответствии с требованиями соответствующих стандартов при выполнении ОКР на этапах аванпроекта или эскизного (технического) проекта разрабатывается Перечень предметов снабжения, включенных в каталог ПС, которые могут быть использованы при создании (модернизации) изделия военной техники (ВТ). Данный Перечень разрабатывается путем анализа сведений из каталога ПС и проведения сопоставительного анализа для оценки возможности использования в создаваемом изделии ВТ (СЧ изделия) ПС, зарегистрированных в каталоге ПС, который осуществляется в соответствии со стандартами сопоставительного анализа предметов снабжения, инженерными методиками сопоставительного анализа ПС и эксплуатационной документацией на ПТКА СК ПС.

Данная норма направлена на повышение применимости ранее разработанных составных частей и комплекующих в разрабатываемом (модернизируемом) финальном изделии ВТ, исключение дублированной разработки, снижение стоимости и сокращение сроков выполнения ОКР. Однако одной такой нормы явно недостаточно, поскольку использование в составе создаваемых изделий СЧ и КИМП, включенных в каталог ПС, носит добровольный характер. Разделы каталога ПС не являются ограничительными перечнями и носят больше информационный характер. При этом анализ разделов каталога ПС осуществляют сами разработчики изделий, явно незаинтересованные использовать заимствованные СЧ и КИМП взамен разработки новых, уникальных изделий. Таким образом, с одной стороны, государство в лице Минобороны России формирует и ведет каталог предметов снабжения ВС РФ, в котором собирается отклассифицированная, структурированная, проверенная информация об образцах ВВСТ, их СЧ и КИМП, а с другой стороны, анализ этой информации носит несистемный характер [5].

Накопленный опыт ведения и использования информационных ресурсов каталога ПС целесообразно учесть при формировании и применении ФКП. Исходя из этого, можно сформулировать первоочередные задачи использования информационных ресурсов ФКП в интересах управления номенклатурой финальных изделий, их составных частей и комплекующих, наиболее важными из которых представляются следующие:

- проведение анализа существующей номенклатуры по закрепленным разделам ФКП на уровне государственных заказчиков с привлечением головных отраслевых и научно-исследовательских организаций в целях недопущения дублирования разработок новых изделий при наличии существующих, не уступающих по характеристикам, на этапах обоснования предложений в проект ГОЗ;

- обоснование головными исполнителями необходимости разработки (применения) новых СЧ и КИМП при наличии их существующих аналогов в разделах ФКП, не уступающих им по характеристикам;

- организация системных работ на межотраслевом уровне с привлечением головных отраслевых и научно-исследовательских организаций промышленности, главных конструкторов по приоритетным технологическим направлениям, цель которых – анализ разделов ФКП и подготовка материалов для принятия решений по управлению номенклатурой промышленной продукции и формированию предложений в план стандартизации оборонной продукции.

Последовательная реализация вышеупомянутых работ по ведению ФКП, его анализу на предмет поиска наилучших унифицированных решений и их фиксации в виде государственных стандартов обеспечит замедление темпов необоснованного расширения номенклатуры разрабатываемой промышленной продукции (составных частей) за счет использования при разработке новых образцов вооружения апробированных технических решений, что в свою очередь, по экспертным оценкам, позволит сократить стоимость НИОКР на 10-20%, а также сроки разработки новых образцов ВВСТ на 20-40%.

Список источников

1. Моисеев В.В. Каталогизация промышленной продукции на предприятии и в организации: рекомендации по проведению работ. М.: Центркаталог, 2010. 313 с.
2. Моисеев В.В., Пьянков А.А., Губанов А.В., Звягинцев С.А., Кулешов А.Е., Максимук А.Н., Андрейков И.П., Филатов И.Н. Автоматизированная обработка каталожной информации. Рекомендации по проектированию и применению. М.: Наш мир, 2024. 452 с.
3. Организационные и технологические аспекты формирования и использования разделов каталога промышленной продукции. Рекомендации центрам каталогизации продукции: монография / Под общ. ред. В.В. Моисеева. М.: Наш мир, 2022. 416 с.
4. Карташев А.В. Развитие современных методов каталогизации наукоемкой продукции и обеспечение качества информации о предметах снабжения, используемых в логистических операциях // Интегрированная логистика. 2009. №3. С. 18-21.
5. Карташев А.В. Генезис каталогизации наукоемкой продукции. М.: Технополиграф-центр, 2019. 237 с.

Информация об авторах

А.А. Пьянков – кандидат технических наук, доцент, SPIN код автора 9064-2971.
С.А. Звягинцев – кандидат экономических наук, SPIN код автора 3260-0587.
И.Н. Филатов – доктор технических наук, доцент, SPIN код автора 6835-6305.

Научная статья
УДК 004.8:623

Комплексный подход к проведению испытаний систем искусственного интеллекта

Александр Сергеевич Горский, Вячеслав Михайлович Полушкин,
Алексей Владимирович Ермоленко

Аннотация. Статья посвящена исследованию вопросов методологии проведения испытаний систем искусственного интеллекта (СИИ). Разработан комплексный подход к проведению различных видов испытаний и интегральной оценке функциональных характеристик СИИ, который позволяет недостатки одного вида испытаний компенсировать преимуществами другого, избежать дублирования и обеспечить эффективную и действенную стратегию валидации. Предложенный подход представляет собой сочетание методов теории вероятностей, математической статистики, нечетких множеств и общей теории принятия решений. В частности, рассмотрен порядок применения метода получения обобщенного показателя и комплексной оценки качества СИИ на примере конкретной расчетной процедуры, а также альтернативный вариант оценки с использованием средств нечеткого моделирования.

Ключевые слова: система искусственного интеллекта; испытания; комплексный подход; теория вероятностей; обобщенный показатель; весовой коэффициент; оценка качества; нечеткий вывод

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

Original article

An Integrated Approach to Artificial Intelligence Systems Testing

Aleksandr S. Gorsky, Viacheslav M. Polushkin, Aleksei V. Ermolenko

Abstract. The article is devoted to the study of the methodology of testing artificial intelligence systems (AIS). A comprehensive approach has been developed to conduct various types of tests and an integrated assessment of the AIS functional characteristics, which allows the disadvantages of one type of test to be compensated by the advantages of another, avoid duplication and ensure an effective and efficient validation strategy. The proposed approach is a combination of methods of probability theory, mathematical statistics, fuzzy sets and general decision theory. In particular, the procedure for applying the method of obtaining a generalized indicator and a comprehensive assessment of the quality of AIS on the example of a specific calculation procedure, as well as an alternative assessment using fuzzy modeling tools, is considered.

Keywords: artificial intelligence system; tests; integrated approach; probability theory; generalized indicator; weighting factor; quality assessment; fuzzy output

For citation: Gorsky A.S., Polushkin V.M., Ermolenko A.V. An Integrated Approach to Artificial Intelligence Systems Testing. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2024;69(3): 28-38. (In Russ.).

Введение

Одним из основных приоритетов развития отечественной науки является внедрение технологий искусственного интеллекта (ИИ) в программно-технические комплексы, повышающие уровень автоматизации различных сфер человеческой деятельности. Проводится множество научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию систем искусственного интеллекта (СИИ), входящих в состав технических средств и комплексов автоматизации. Данное обстоятельство вызывает необходимость разработки единых подходов к методам проведения испытаний – оценки качества создаваемых СИИ. Под оценкой качества СИИ будем понимать комплексную оценку функциональных характеристик, позволяющих интегрально оценить способность СИИ выполнять заданные функции с требуемой эффективностью.

Анализ существующих подходов к испытаниям СИИ [1-7] показал, что в основном предлагается последовательное проведение испытаний от виртуальных к натурным. По каждому виду испытаний заблаговременно формируется система показателей и критериев оценки соответствия характеристик СИИ заданным требованиям. При этом в работе [6] для оценки результатов виртуальных испытаний количество повторений одного испытания определяется с учетом требуемого уровня доверия к итоговому результату и вычислительной

мощности моделирующего стенда, а для натуральных (полигонных) испытаний – с учетом материальных, временных затрат и минимального допустимого уровня доверия. Предлагаемый в [7] подход позволяет рассчитать число успешных виртуальных испытаний до появления первой ошибки, чтобы сделать вывод либо о требуемом, либо о достигнутом уровне функциональности СИИ. В первом случае в качестве параметра-критерия годности СИИ выбрано требование к вероятности успешного решения прикладной задачи, во втором – к обратной величине, вероятности ошибки. В обоих случаях для оценки функциональных характеристик СИИ использованы методы теории вероятностей. В данной статье предлагается рассмотреть комплексный подход к проведению испытаний СИИ.

1 Анализ и выбор методического аппарата проведения комплексных испытаний СИИ

Целью испытаний СИИ будем считать экспериментальное определение количественных и (или) качественных характеристик свойств объекта испытаний, как результата воздействия на него, при его функционировании, при моделировании объекта и (или) воздействий. По условиям и месту проведения испытания подразделяются на испытания с использованием моделей (в т.ч. виртуальные испытания), лабораторные, стендовые, полигонные, натурные и эксплуатационные.

Вместе с тем некоторые из указанных испытаний могут быть частью другого испытания. Например, инструментальная цепочка виртуальных испытаний может включать, помимо компьютера, лабораторное оборудование и испытательные стенды. Условия полигонных и натуральных испытаний предполагают более строгое соблюдение предъявляемых требований¹. С учетом этого в дальнейшем будем рассматривать три основных вида испытаний, которые могут использоваться на стадии разработки СИИ: виртуальные (в т.ч. лабораторные и стендовые), полигонные и натурные.

Сравнительный анализ основных видов испытаний позволил определить их существенные свойства и качественные оценки (таблица 1).

Необходимо отметить, что у каждого вида испытаний есть свои преимущества и недостатки.

Виртуальные испытания позволяют получить высокую масштабируемость создаваемых ситуаций и являются самыми безопасными и экономически выгодными по сравнению с полигонными или натурными испытаниями. Это дает возможность безопасно и легко создавать большое количество ситуаций для применения СИИ, в которых исследуется разнообразный спектр элементов окружающей среды. Однако виртуальные модели и программные средства испытательного стенда могут не позволить с требуемой точностью (адекватностью) воссоздать условия, близкие к реальным.

Таблица 1 – Виды испытаний и оценка их свойств

№ п/п	Свойства испытаний	Оценка уровня достижимости		
		виртуальные	полигонные	натурные
1.	безопасность	высокий	высокий	низкий
2.	точность	низкий	высокий	высокий
3.	адекватность	низкий	средний	высокий
4.	экономичность	высокий	низкий	низкий
5.	масштабируемость	высокий	низкий	низкий

¹ ГОСТ 16504-81 Система государственных испытаний. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения. М.: Стандартинформ, 2011. 24 с.

С другой стороны, виртуальные испытания могут быть более подходящими, когда необходимо провести моделирование с большим количеством возможных ситуаций для применения СИИ. Полигонные испытания лучше всего подойдут для случаев, когда функциональность СИИ может быть оценена с помощью ограниченного числа испытаний при обеспечении более высоких уровней точности и безопасности. Натурные испытания проводятся, когда необходимо создать естественные условия для более точной оценки наиболее важных (значимых) характеристик СИИ.

Для того, чтобы рационально использовать преимущества и нивелировать недостатки каждого вида испытаний, необходимо применять и оценивать различные виды испытаний в комплексе. Такой подход позволит недостатки одного вида испытаний компенсировать преимуществами другого, избежать дублирования и обеспечить эффективную и действенную стратегию валидации.

Обязательным условием комплексного подхода является соответствие наборов тестовых данных, используемых для виртуальных испытаний, исходным условиям полигонных или натурных испытаний. В этом случае статистика, полученная во время испытаний на полигоне, может использоваться для проверки достоверности результатов виртуальных испытаний при выполнении одного и того же сценария. Информация, собранная в ходе натурных испытаний, может применяться для проверки адекватности моделирования виртуальной среды или среды полигонных испытаний.

Для применения комплексного подхода необходимо по каждой характеристике определить частные характеристики (субхарактеристики), их показатели, критерии, порядок вывода расчетных и статистических оценок, количество испытаний и повторений каждого испытания. После проведения испытаний на основе полученной статистики определяются оценки частных показателей, производится их нормирование и свертка, что позволяет получить комплексную оценку каждой характеристики.

Возможный вариант формирования частных показателей функциональных характеристик (субхарактеристик) СИИ для различных испытаний представлен в таблице 2. Ввиду достаточно больших материальных затрат на создание условий для полигонных и натурных испытаний заказчиком СИИ может быть принято решение на проведение либо полигонных, либо натурных испытаний.

Данный вариант предполагает расчетный метод определения значений показателей на основе статистики, полученной по итогам испытаний. Учитывая, что методы расчета указанных в таблице 2 усредненных и вероятностных показателей известны из теории вероятностей и математической статистики [8], в данной статье они не приводятся [9; 10]. Помимо расчетных показателей могут также вводиться показатели, которые определяются методами экспертных оценок. Для оценки каждой субхарактеристики СИИ необходимо определить количество различных испытаний (наборов тестовых данных, сценариев) и реализаций для каждого испытания. Математический аппарат, позволяющий провести такие расчеты, достаточно полно рассмотрен в [6; 7].

Для конкретизации процедуры оценки качества СИИ в таблицах 3-5 приводятся варианты распределения весовых коэффициентов частных показателей для каждой характеристики (субхарактеристики). Весовые коэффициенты для субхарактеристик даны во втором столбце каждой таблицы, для всех показателей – в строке соответствующей субхарактеристики. В каждом отдельном столбце и строке их сумма должна быть равна 1.

Важно отметить, что оценивание субхарактеристик P1, P2 осуществляется только по результатам виртуальных испытаний, а Д1, Д2, Ц1, Ц2 – после проведения всех видов испытаний (виртуальных, полигонных и натурных). Поэтому здесь необходимо учитывать разную точность и адекватность результатов различных видов испытаний (см. таблицу 1). Сделать это можно также с помощью введения весовых коэффициентов, учитывающих указанные свойства испытаний. Пример распределения весовых коэффициентов между видами испытаний приведен в таблице 6. Значения весовых коэффициентов, указанных в таблицах 3-6, определяются методом экспертных оценок.

Далее рассмотрим процедуру нормировки, формирования модели предпочтений, свертки частных показателей и получения комплексной оценки для каждой характеристики СИИ.

Таблица 2 – Показатели функциональных характеристик СИИ для различных испытаний

№ п/п	Функциональные характеристики (субхарактеристики) СИИ, код	Показатели оценки	Вид испытаний
	распознавание объектов, Р		
1.1	распознавание препятствий, Р1	вероятность распознавания, $P_{р1}$ вероятность ошибки первого рода, $P_{ош1р1}$ среднее время распознавания, $T_{ср.п}$ (с)	Виртуальные испытания (В)
1.2	распознавание целей, Р2	вероятность распознавания, $P_{р2}$ вероятность ошибки первого рода, $P_{ош1р2}$ среднее время распознавания, $T_{ср.ц}$ (с)	В
	движение с препятствиями, Д		
2.1	движение с преодолимыми препятствиями, Д1	вероятность преодоления препятствия, $P_{пп}$ вероятность прибытия на исходный рубеж, $P_{ипр}$ среднее время преодоления препятствия, $T_{ср.пп}$ (с) средняя скорость, $S_{ср.}$ (км/ч)	В, полигонные испытания (П), натурные испытания (Н)
2.2	движение с непреодолимыми препятствиями, Д2	вероятность объезда препятствия, $P_{оп}$ вероятность прибытия на исходный рубеж, $P_{ипр}$ среднее время объезда препятствия, $T_{ср.оп}$ (с) средняя скорость, $S_{ср.}$ (км/ч)	В, П, Н
	обнаружение, захват и сопровождение целей на маршруте движения, Ц		
3.1	обнаружение, захват и сопровождение подвижных целей на маршруте движения, Ц1	вероятность захвата подвижной цели, $P_{зп}$ среднее время захвата цели, $T_{ср.зпц}$ (с)	В, П, Н
3.2	обнаружение и захват неподвижных целей на маршруте движения, Ц2	вероятность захвата неподвижной цели, $P_{зпп}$ среднее время захвата цели, $T_{ср.зппц}$ (с)	В, П, Н

Таблица 3 – Весовые коэффициенты для показателей оценки функциональной характеристики «распознавание объектов»

Код субхарактеристики	Вес субхарактеристики	Вес показателей		
		Вероятность распознавания	Вероятность ошибки первого рода	Среднее время распознавания
Р1	0,5	0,6	0,3	0,1
Р2	0,5	0,6	0,2	0,2

Таблица 4 – Весовые коэффициенты для показателей оценки функциональной характеристики «движение с препятствиями»

Код субхарактеристики	Вес субхарактеристики	Вес показателей			
		вероятность преодоления (объезда) препятствия	вероятность прибытия на исходный рубеж	среднее время преодоления (объезда) препятствия	средняя скорость
Д1	0,4	0,4	0,3	0,2	0,1
Д2	0,6	0,4	0,3	0,2	0,1

Таблица 5 – Весовые коэффициенты для показателей оценки функциональной характеристики «захват целей»

Код субхарактеристики	Вес субхарактеристики	Вес показателей	
		вероятность захвата подвижной (неподвижной) цели	среднее время захвата подвижной (неподвижной) цели
Ц1	0,6	0,7	0,3
Ц2	0,4	0,7	0,3

Таблица 6 – Весовые коэффициенты для различных видов испытаний при оценке субхарактеристик Д1, Д2, Ц1, Ц2

Код субхарактеристики	Вес		
	В	П	Н
Д1, Д2, Ц1, Ц2	0,15	0,4	0,45

2 Расчётная процедура применения комплексного подхода к оценке качества СИИ

Задача комплексной оценки частных показателей качества СИИ относится к классу многокритериальных задач и может быть решена одним из методов общей теории принятия решений, в частности методом получения обобщенного показателя [11; 12].

Абсолютные значения частных показателей по видам испытаний будем определять по формуле:

$$P = \sum_{i=1}^n P_i \cdot v_i, \quad (1)$$

где n – число значений частного показателя P , полученных в различных видах испытаний, в данном случае $n = 3$; v_i – весовой коэффициент i -го значения частного показателя P_i .

В качестве примера проведем расчет одного из показателей категории Д1. Допустим, статистическая вероятность преодоления препятствия по результатам виртуальных испытаний равна 0,85, $P_{пп1} = 0,85$, полигонных испытаний – $P_{пп2} = 0,9$, натуральных испытаний – $P_{пп3} = 0,8$. Используя данные из таблицы 6 и формулу (1), получим $P_{пп} = 0,85 \cdot 0,15 + 0,9 \cdot 0,4 + 0,8 \cdot 0,45 = 0,8475$. Остальные показатели рассчитываются аналогично.

По решению заказчика свертка значений показателей по видам испытаний может не проводиться. В этом случае формула (1) и таблица 6 не используются, и обработка результатов испытаний проводится по каждому виду испытаний в отдельности.

С учетом того, что субхарактеристики Д1, Д2, Ц1, Ц2 имеют неоднородные частные показатели, для приведения их к единой шкале необходимо провести нормировку. Существует несколько методов нормировки [11; 12]. В данном случае будем использовать метод, который заключается в том, что вместо абсолютных значений частного показателя возьмем отношения этих значений к его максимально допустимому значению. Это позволит сравнивать показатели по степени их приближения к максимальному значению. Например, субхарактеристика Д1 оценивается по четырем показателям: вероятности преодоления препятствия $P_{пп}$, $0 \leq P_{пп} \leq 1$, вероятности прибытия на исходный рубеж $P_{ир}$, $0 \leq P_{ир} \leq 1$, средней скорости движения на маршруте $S_{ср.}$, $0 \leq S_{ср.} \leq 50$ (км/ч), и среднему времени преодоления препятствия $T_{ср.пп}$, $0 \leq T_{ср.пп} \leq 30$ (с). Естественно, при комплексной оценке трудно сопоставлять такие значения, как, допустим, $P_{пп1} = 0,9$, $P_{ир} = 0,85$, $S_{ср.1} = 25$, $T_{ср.пп1} = 20$, поэтому проведем нормировку этих показателей.

Максимальные значения показателей $P_{ппmax} = P_{ирmax} = 1$, $S_{ср.max} = 50$, $T_{ср.пп} = 25$, тогда $P_{пп1}^* = \frac{P_{пп1}}{1}$, $P_{ир1}^* = \frac{P_{ир1}}{1}$, $S_{ср.1}^* = \frac{S_{ср.1}}{S_{ср.max}}$, $T_{ср.пп1}^* = \frac{T_{ср.пп1}}{T_{ср.max}}$. В результате $P_{пп1}^* = 0,9$, $P_{ир1}^* = 0,85$, $S_{ср.1}^* = 0,5$, $T_{ср.пп1}^* = 0,8$, что позволяет сравнить данные показатели.

В качестве модели предпочтений показателей примем следующее условие: большие значения каждого отдельно взятого показателя будем предпочитать меньшим. Чтобы привести к этой модели все показатели, для $T_{ср.пп1}^*$ будем использовать обратные значения, $1 - T_{ср.пп1}^* = 0,2$. Теперь появляется возможность провести свертку частных показателей субхарактеристики Д1 к ее обобщенному показателю $\Pi_{Д1}$. Для этого используем следующее выражение:

$$\Pi_{Д1} = \sum_{j=1}^N \Pi_j \cdot V_j, \quad (2)$$

где N – число частных показателей соответствующей субхарактеристики, применительно к Д1 $N = 4$; V_j – весовой коэффициент j -го частного показателя Π_j .

Подставляя в формулу (2) ранее указанные значения показателей $P_{пп1}^*$, $P_{ир1}^*$, $S_{ср.1}^*$, $T_{ср.пп1}^*$ и весовых коэффициентов из таблицы 4, получим $\Pi_{Д1} = 0,9 \cdot 0,4 + 0,85 \cdot 0,3 + 0,5 \cdot 0,2 + 0,8 \cdot 0,1 = 0,795$. Расчет обобщенных показателей Р1, Р2, Д2, Ц1, Ц2 осуществляется аналогичным способом.

Комплексную оценку каждой функциональной характеристики Р, Д и Ц определим с помощью выражения, похожего на (1) и (2). Применительно к характеристике Д оно будет иметь следующий вид:

$$\Pi_{Д} = \sum_{k=1}^Q \Pi_{Дk} \cdot W_k, \quad (3)$$

где Q – число обобщенных показателей соответствующей характеристики, для Д $Q = 2$; W_k – весовой коэффициент k -го обобщенного показателя $\Pi_{Дk}$.

Имея значения $\Pi_{Д1}$ и $\Pi_{Д2}$, допустим $\Pi_{Д2} = 0,8975$, проведем расчет комплексной оценки Д: $\Pi_{Д} = 0,795 \cdot 0,4 + 0,8975 \cdot 0,6 = 0,8565$. Таким же образом производится комплексная оценка характеристик Р и Ц.

Представленная расчетная процедура позволяет свернуть все оценки качества тестируемой СИИ для каждой из трех функциональных характеристик в единый комплексный показатель. В результате применения этой процедуры должно быть получено три скалярных комплексных показателя качества СИИ.

Для оценки функциональности СИИ должны быть определены критерии – параметры годности, при выполнении которых испытываемый объект считают выдержавшим испытания².

Рассмотрим возможный вариант формирования критериального правила для оценки качества СИИ:

1. Если значения всех характеристик больше или равны 0,9, то СИИ признается прошедшей испытания.
2. Если значения двух характеристик больше или равны 0,9, а третьей – не меньше 0,8, то испытания и оценка этой характеристики повторяются, в противном случае – испытание не пройдено. Если повторно не выполняется требование п.1, то СИИ считается не прошедшей испытания.
3. При невыполнении требований п.1, п.2 СИИ считается не прошедшей испытания.

В соответствии с этим правилом при условии, что комплексные оценки характеристик Р и Ц будут не меньше 0,9, полученное значение $\Pi_{Д} = 0,8565$ потребует повторного проведения испытаний и оценки характеристики Д.

3 Оценка качества СИИ с использованием средств нечеткого моделирования

В случае, когда определение четких количественных критериев оценки качества СИИ вызывает объективные сложности, целесообразно рассмотреть альтернативный вариант оценки по нечетким данным. В качестве примера возьмем возможную процедуру оценки субхарактеристики Р1 – распознавание препятствий (см. таблицу 2). Для реализации процесса нечеткого моделирования будем использовать объектно-ориентированную среду MATLAB с пакетом расширения Fuzzy Logic Toolbox [13].

Входными лингвистическими переменными (ЛП) определим показатели: вероятность распознавания ($P_{р1}$) и вероятность ошибки первого рода ($P_{ош1р1}$), выходной ЛП – результат испытания. Для входных ЛП будем использовать терм-множество: «низкая», «средняя» и «высокая», для выходной ЛП – «положительный», «повторение» и «отрицательный». Структура системы нечеткого вывода представлена на рисунке 1.

В качестве функций принадлежности для термов входных и выходной переменных выбраны «треугольная» и «трапециевидная». Функции принадлежности и их параметры изображены на рисунке 2.

Построим базу правил нечетких продукций для системы нечеткого вывода по Мамдани, показанных на рисунке 3:

1. Если «вероятность распознавания ($P_{р1}$)» есть «высокая» и «вероятность ошибки первого рода ($P_{ош1р1}$)» есть «низкая», то «результат испытания» есть «положительный».
2. Если «вероятность распознавания ($P_{р1}$)» есть «средняя» и «вероятность ошибки первого рода ($P_{ош1р1}$)» есть «средняя», то «результат испытания» есть «повторение».
3. Если «вероятность распознавания ($P_{р1}$)» есть «низкая» и «вероятность ошибки первого рода ($P_{ош1р1}$)» есть «высокая», то «результат испытания» есть «отрицательный».

² ГОСТ РВ 15.211-2002 Система разработки и постановки продукции на производство. Порядок разработки программ и методик испытаний опытных образцов изделий. Основные положения. М.: Стандартинформ, 2002.

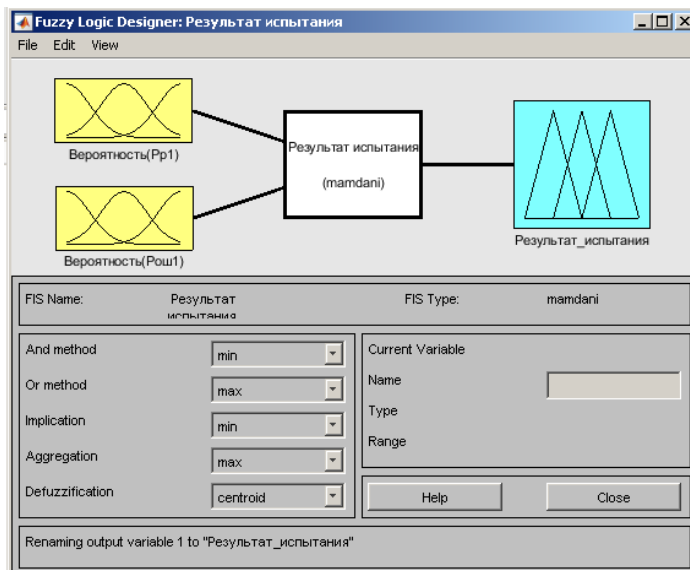


Рисунок 1 – Структура системы нечеткого вывода

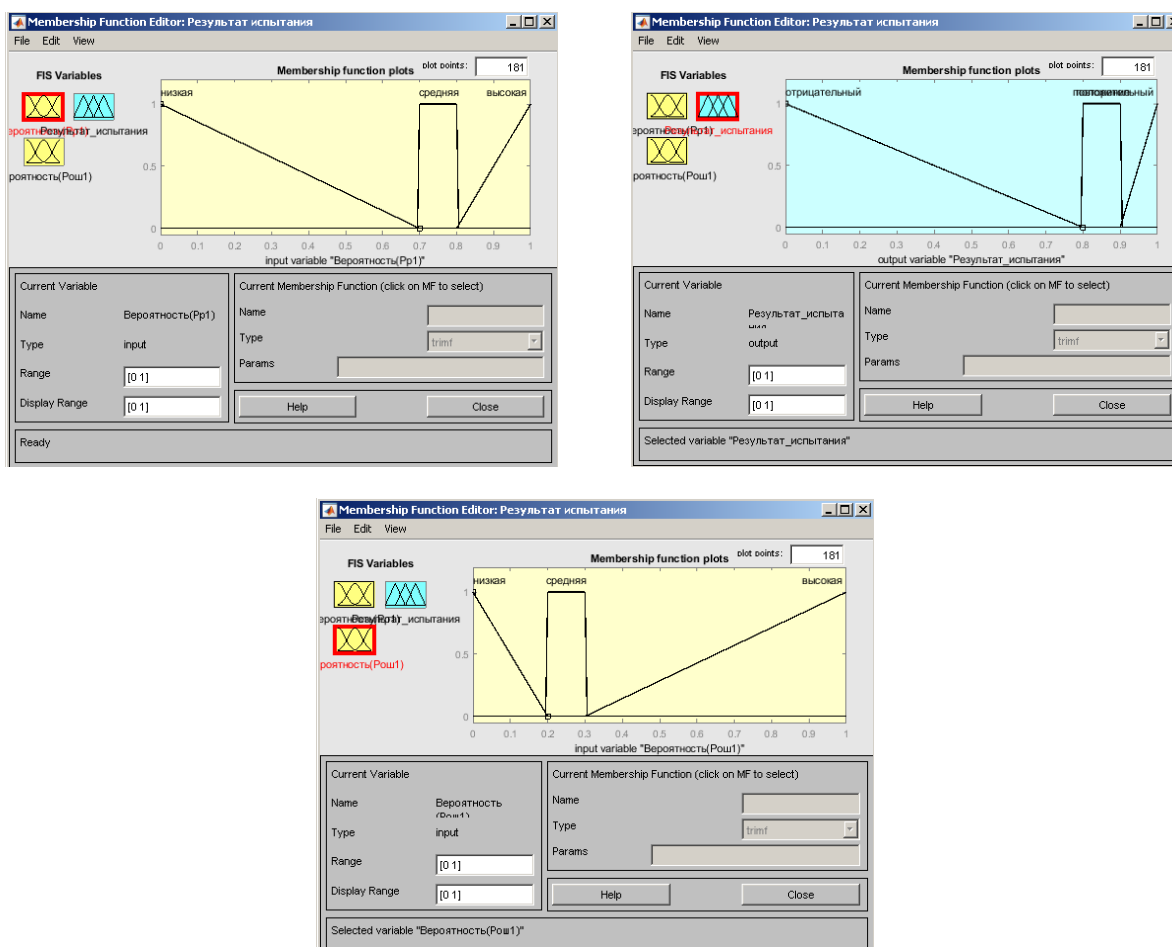


Рисунок 2 – Вид функций принадлежности для входных (вверху) и выходной (внизу) переменных

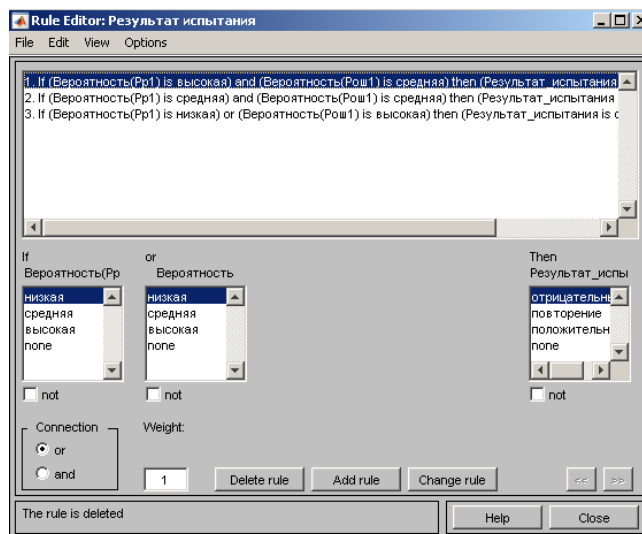


Рисунок 3 – База правил нечеткого вывода

После этого система нечеткого вывода готова к проведению расчетов. Введем значения входных переменных для случая, когда вероятность распознавания (P_{p1}) равна 0,8 и вероятность ошибки первого рода ($P_{ош1p1}$) равна 0,2 (рисунок 4).

В этом случае фаззификация (процедура нахождения значений функции принадлежности) первой входной ЛП (P_{p1}) приводит к значению степени истинности 0 для термина «высокая» и 1 для термина «средняя», а фаззификация второй ЛП ($P_{ош1p1}$) приводит к значению истинности 0 для термина «низкая» и 1 для термина «средняя». Соответствующие подусловия используются в правилах нечетких продукций с номерами 1 и 2. Эти правила считаются активными и используются в текущем процессе нечеткого вывода.

Следующий этап нечеткого вывода: агрегирование – процедура определения степени истинности условий по каждому из правил системы нечеткого вывода. Условия правил 1 и 2 состоят из подусловий, связанных логическим «И», следовательно, при агрегировании используется операция *min*-конъюнкция. Агрегирование подусловий правила 1 дает в результате число 0, а агрегирование подусловий правила 2 – число 1.

На основе результатов агрегирования проводится процедура нахождения степени истинности каждого из заключений правил нечеткой продукции – активизация. Поскольку все заключения правил заданы в форме нечетких лингвистических высказываний вида: « ω есть α », а весовые коэффициенты правил по умолчанию равны 1, то активизация правила 1 приводит к заключению «положительный» со степенью истинности 0, активизация правила 2 – к заключению «повторение» со степенью истинности 1.

Далее осуществляется аккумулярование – процедура нахождения функции принадлежности для выходной ЛП. Аккумулярование заключений нечетких правил продукции с использованием операции *max*-дизъюнкции для правил 1 и 2 приводит в результате к нечеткому множеству, функция принадлежности которого изображена на рисунке 4 (3 столбец, нижний график) и представляет собой функцию принадлежности для термина «повторение».

Заключительным этапом является дефаззификация – процедура нахождения числового значения для выходной ЛП. Дефаззификация выходной ЛП «результат испытания» методом центра площади (*centroid*) приводит к значению выходной переменной 0,85, что соответствует терму «повторение» (см. рисунок 4).

Для оценки влияния изменения значений входных ЛП на значение выходной ЛП применяется инструментарий построения поверхности нечеткого вывода (рисунок 5).

При необходимости можно построить график зависимости выходной переменной от одной из входных переменных, например, от ЛП «вероятность распознавания (P_{p1})» (рисунок 6).

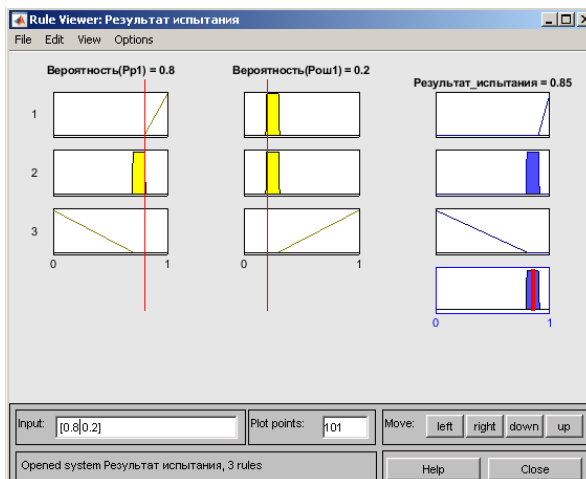


Рисунок 4 – Система нечеткого вывода после ввода входных переменных [0,8 0,2]

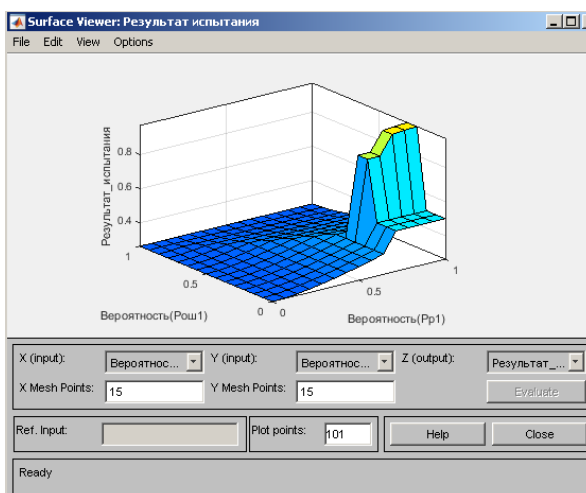


Рисунок 5 – Детерминированная поверхность нечеткого вывода

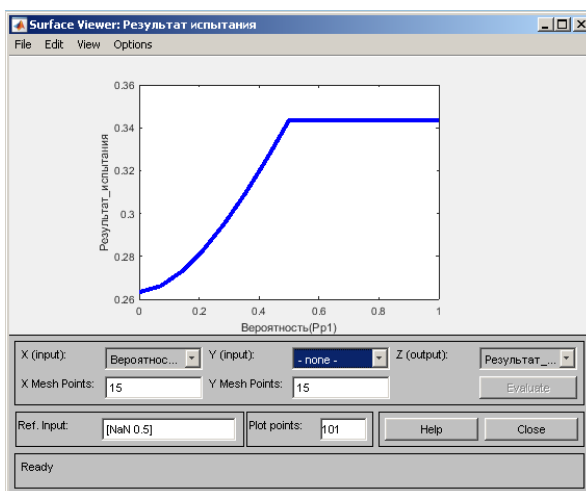


Рисунок 6 – График зависимости выходной переменной от входной ЛП

Таким образом, рассмотрен один из возможных подходов к оценке качества СИИ в ходе испытаний с применением средств нечеткого моделирования. Наиболее эффективными методы нечеткого моделирования являются в условиях, когда определение четких количественных критериев оценки вызывает объективные сложности, а также при необходимости работы с большим числом переменных, которые можно представить в виде аналитических, статистических или эвристических зависимостей. В этом случае применение средств нечеткого моделирования позволит существенно сократить общее время обработки и визуализации результатов испытаний, уменьшить трудоемкость и количество возможных ошибок по сравнению с более точными, но ресурсоемкими классическими методами.

Заключение

В ходе исследований проведен анализ и обоснован выбор методического аппарата, который позволяет реализовать комплексный подход к проведению различных видов испытаний и интегральной оценке функциональных характеристик СИИ. Предложенный подход представляет собой сочетание методов теории вероятностей, математической статистики, нечетких множеств и общей теории принятия решений. В частности, рассмотрен порядок применения метода получения обобщенного показателя и комплексной оценки качества СИИ на примере конкретной расчетной процедуры, а также альтернативный вариант оценки с использованием средств нечеткого моделирования.

Рассмотренный в статье комплексный методический подход может быть использован при разработке методик испытаний СИИ, технических средств и комплексов с различными уровнями автономности систем управления.

Список источников

1. Кудряшов Д.В., Липатников А.Д., Щербинин Е.В. Подходы к испытаниям искусственного интеллекта в части автономности мобильных роботов // Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «Робототехника»: сб. статей IV Всерос. науч.-техн. конф. (г. Анапа, 2022, 20-21 июля). Анапа: ВИТ «ЭРА», 2022. С. 84-89.
2. Щербинин Е.В., Липатников А.Д., Кудряшов Д.В. К вопросу об испытании адаптивности в системе управления мобильных роботов как показателя технологии искусственного интеллекта // Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «Робототехника»: сб. статей IV Всерос. науч.-техн. конф. (г. Анапа, 2022, 20-21 июля). Анапа: ВИТ «ЭРА», 2022. С. 204-211.
3. Малов А.В., Лапа М.В., Гончаренко А.Ю. Методы испытаний систем технического зрения для морских роботов // Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование: сб. науч. трудов 8-й Междунар. молодежн. науч.-практ. конф. (г. Курск, 2021, 12 ноября). Курск: ЮЗГУ, 2021. С. 205-207.
4. Громов С.П., Корнилов В.И., Соколенко В.Н., Пантелеев А.Л., Наумов В.Н. Испытания наземных робототехнических комплексов военного назначения за рубежом // Труды НАМИ. 2016. №264. С. 79-91.
5. Частиков А.П., Глушко С.П., Тотухов К.Е. Компьютерная симуляция программного управления виртуальным роботом. Исследование, разработка, испытание. Saarbrücken: LAP Lambert, 2012. 136 с.
6. Горский А.С. Актуальные вопросы виртуальных испытаний систем искусственного интеллекта // Вооружение и экономика. 2023. №2(64). С. 35-39.
7. Горский А.С. Методический подход к оцениванию характеристик интеллектуальных робототехнических средств // Вооружение и экономика. 2023. №1(63). С. 112-119.
8. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: методы планирования эксперимента. М.: Мир, 1981. 516 с.
9. Венецкий И.Г., Венецкая В.И. Основные математико-статистические понятия и формулы в экономическом анализе. М.: Статистика, 1974. 300 с.
10. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход. 4-е изд. Т.2: Знания и рассуждения в условиях неопределенности. СПб.: Диалектика-Вильямс, 2021. 480 с.

11. Хохлачев Е.Н. Организация и технологии выработки решений при управлении системой и войсками связи: монография. Ч.1. М.: ВА РВСН, 2012. 235 с.
12. Хохлачев Е.Н., Перекрестов С.А. Организация и технологии выработки решений при управлении системой и войсками связи: монография. Ч.4. М.: ВА РВСН, 2012. 215 с.
13. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2003. 736 с.

Информация об авторах

- А.С. Горский – кандидат технических наук, SPIN код автора 2164-7791.
В.М. Полушкин – кандидат технических наук.
А.В. Ермоленко – кандидат технических наук, SPIN код автора 8544-4195.

Научная статья
УДК 519.71

Подход к определению обобщенных критериев шкалирования военных технологий на основе аппроксимационного метода

Сергей Владимирович Стукалин, Дмитрий Геннадьевич Хованов,
Георгий Юрьевич Першиков

Аннотация. Предложен подход к выбору наилучшей из некоторой совокупности однотипных технологий на основе аппроксимационного метода, который позволяет шкалировать технологии по оси обобщенного критерия и сравнивать их между собой с учетом значений характеристик, которыми технологии описываются. Основным достоинством предлагаемого подхода является возможность решения задачи аналитическим методом без привлечения экспертов или минимальной дополнительной информации, получаемой от них.

Ключевые слова: шкалирование; обобщенный критерий; аппроксимационный метод; военные технологии

Для цитирования: Стукалин С.В., Хованов Д.Г., Першиков Г.Ю. Подход к определению обобщенных критериев шкалирования военных технологий на основе аппроксимационного метода // Вооружение и экономика. 2024. №3(69). С. 39-46.

Original article

Approach to the Determination of the Generalized Scaling Military Technologies Criteria on the Basis of the Approximation Method

Sergei V. Stukalin, Dmitrii G. Khovanov, Georgii Iu. Pershikov

Abstract. An approach to selection of one of the best from a certain set of similar technologies is proposed. This approach is based on the approximation method, which allows to scale technologies along the axis of the generalized criterion and intercompare them with regard for the technology specifics. The main advantage of the proposed approach is the ability to solve the problem by means of analytical method without experts support or minimal additional information received from experts.

Keywords: scaling; generalized criterion; approximation method; military technologies

For citation: Stukalin S.V., Khovanov D.G., Pershikov G.Iu. Approach to the Determination of the Generalized Scaling Military Technologies Criteria on the Basis of the Approximation Method. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2024;69(3): 39-46. (In Russ.).

В условиях беспрецедентного санкционного давления со стороны западных стран и разрыва многих кооперационных цепочек в нашей стране проводится системная работа по импортозамещению технологий, используемых для создания вооружения, военной и специальной техники. С учетом ограниченности выделяемых на эти цели ассигнований актуальной является задача сравнения технологий для выбора первоочередных направлений финансирования в рамках отдельного технологического направления.

В зависимости от набора рассматриваемых для каждой технологии показателей, предназначенных для вынесения оценочных суждений и являющихся критериями оценки [1], данная задача сводится к построению агрегированного показателя, называемого обобщенным критерием и сопоставляющего каждой технологии оценку ее «качества» (свертка критериев). Такой обобщенный критерий позволяет перевести задачу в одномерную плоскость и «шкалировать» технологии, определяя лучшие.

Традиционно для решения подобных задач используются многокритериальные методы экспертного оценивания, ключевым недостатком которых является формирование репрезентативной группы специалистов и обработка полученных частных оценок (часто кардинально отличающихся друг от друга) [2-4].

Для формирования обобщенного критерия авторами используется метод линейной свертки (1) в виде $z = z(x)$, где $x \in X$ – пространство критериев:

$$z_i = \sum_{j=1}^n a_j x_{ij}, \quad (1)$$

где x_{ij} – значение j -го частного критерия i -й технологии; a_j – вес j -го частного критерия, отражающий степень его важности относительно других частных критериев.

В зависимости от имеющихся исходных данных могут использоваться аддитивная, мультипликативная и другие виды свертки [5].

Таким образом, задача оценки технологий с линейным видом обобщенного критерия сводится к определению вектора весов a_j . Для этого могут использоваться три группы методов: непосредственного вычисления весов, экспертного определения весов и аппроксимационные. Предлагаемый автором подход основан на использовании аппроксимационного метода, позволяющего определить веса критериев по результатам анализа «внутреннего» критериального пространства без необходимости участия экспертной группы (лица, принимающего решение) или с минимальной дополнительной информацией, получаемой от них.

Ниже приведена вербальная постановка задачи построения обобщенного критерия оценки технологий. Пусть $E = \{e_r, r = \overline{1, m}\}$ – множество технологий. Для E задана матрица $X = \|x_{rj}\|_{m,n}$ значений n критериев. Информация о попарных соотношениях между технологиями отражена в матрице $Q = \|q_{rk}\|_{m,m}$, где $k = \overline{1, m}$. Обобщенный критерий имеет линейный вид и порождает аппроксимирующую матрицу $D = \|d_{rk}\|_{m,m}$. Задача состоит в поиске вектора a , обеспечивающего максимальную близость матриц Q и D , т.е. минимизирующего меру близости $J(Q, D)$.

Алгоритм нахождения обобщенного критерия приведен на рисунке 1 и включает 5 основных шагов, подробно изложенных ниже.

На первом шаге осуществляется нормировка значений частных критериев. При этом сами критерии могут быть двух видов:

- «больше-лучше», чем лучше технология, тем большее значение принимает критерий. Его нормировка осуществляется по формуле (2):

$$x_{rj}^H = \frac{(x_{rj} - \min(x_j))}{(\max(x_j) - \min(x_j))}, \quad (2)$$

где x_{rj}^H – нормализованное значение j -го критерия для r -й технологии;

x_{rj} – значение j -го критерия для r -й технологии;

$\min(x_j)$ – минимальное значение j -го критерия;

$\max(x_j)$ – максимальное значение j -го критерия.

- «меньше-лучше», чем лучше технология, тем меньшее значение принимает критерий. Его нормировка осуществляется по формуле (3):

$$x_{rj}^H = \frac{(\max(x_j) - x_{rj})}{(\max(x_j) - \min(x_j))}. \quad (3)$$

На втором шаге формируется матрица $Q = \|q_{rk}\|_{m,m}$, характеризующая парное отношение предпочтительности технологий. Для этого находится матрица $U = \|u_{rk}\|_{m,m}$, полученная путем введения Евклидовой метрики по формуле:

$$u_{rk} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (x_{rj} - x_{kj})^2}. \quad (4)$$

Далее привлекается дополнительная информация (матрица бинарных отношений $P = \|p_{rk}\|_{m,m}$), источниками которой могут служить:

- результаты обработки экспертного опроса (при этом необязательно, чтобы были даны попарные оценки всех технологий);

- результаты моделирования;

- ретроспективный анализ и т.д.

Причем, в случае проведения экспертного опроса, результаты могут быть представлены в любом виде, включая:

- ранжирование;

- оценки технологий;

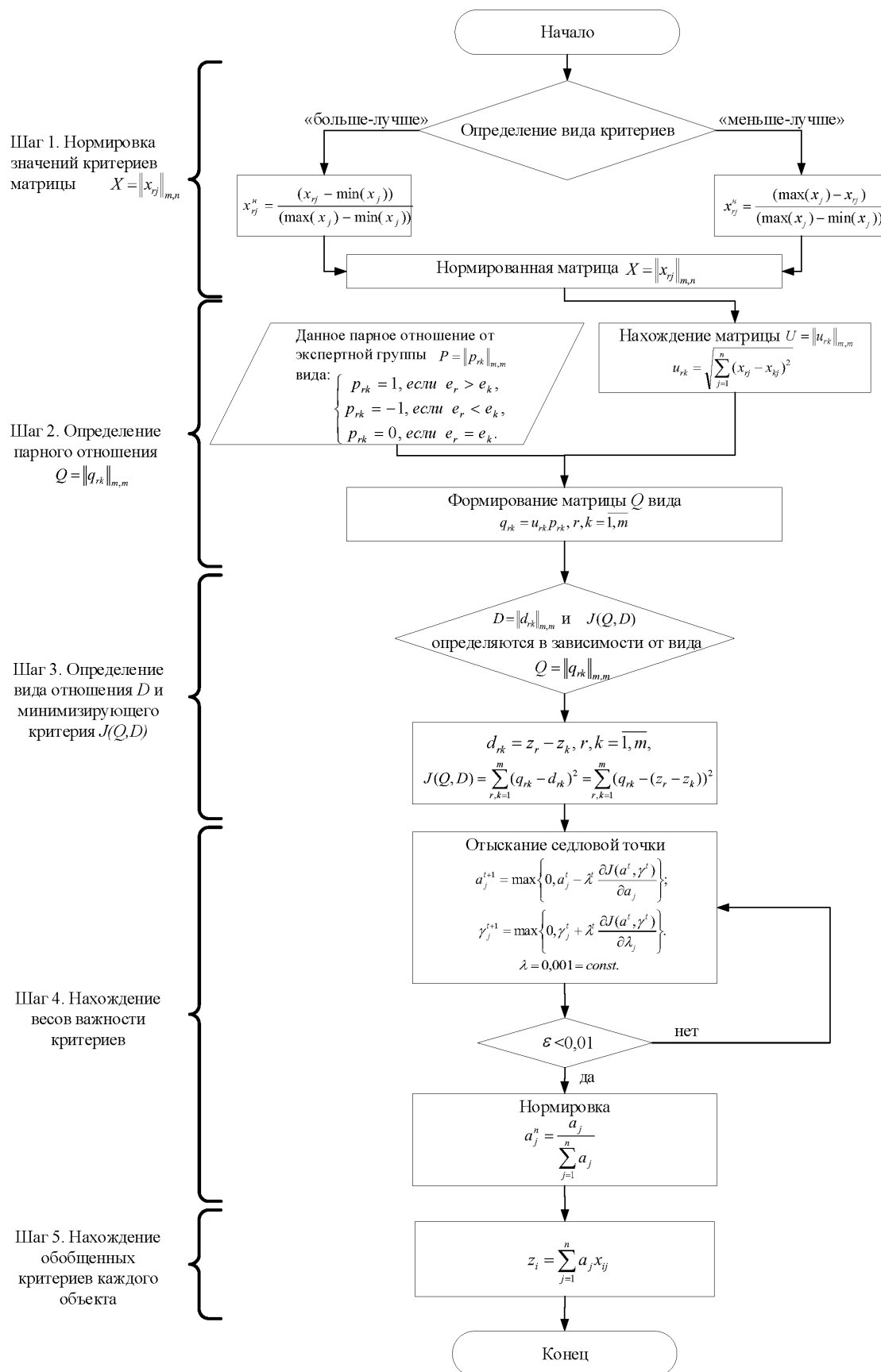


Рисунок 1 – Алгоритм нахождения обобщенного критерия

- попарное сравнение технологий, которые могут быть далее преобразованы в матрицу $P = \|p_{rk}\|_{m,m}$ вида:

$$\begin{cases} p_{rk} = 1, & \text{если } e_r > e_k, \\ p_{rk} = -1, & \text{если } e_r < e_k, \\ p_{rk} = 0, & \text{если } e_r = e_k. \end{cases} \quad (5)$$

Затем на основе матриц $U = \|u_{rk}\|_{m,m}$ и $P = \|p_{rk}\|_{m,m}$ определяется отношение $Q = \|q_{rk}\|_{m,m}$ вида:

$$q_{rk} = u_{rk}p_{rk}, \quad r, k = \overline{1, m}, \quad (6)$$

показывающее насколько более предпочтительной является технология e_r относительно технологии e_k .

На третьем шаге определяется вид отношения D и минимизирующего критерия $J(Q, D)$. Для матрицы Q задача построения обобщенного критерия может ставиться в зависимости от типа шкалы, в которой измерена величина q_{rk} . С учетом того, что величина q_{rk} измерена в шкале разностей, аппроксимирующее отношение D (7) и вид минимизирующего критерия (8) определяются через значения $Z = \{z_r, r = \overline{1, m}\}$ шкалы обобщенного критерия [6]:

$$d_{rk} = z_r - z_k, \quad r, k = \overline{1, m}, \quad (7)$$

$$J(Q, D) = \sum_{r,k=1}^m (q_{rk} - d_{rk})^2 = \sum_{r,k=1}^m (q_{rk} - (z_r - z_k))^2. \quad (8)$$

Ввиду того, что используется линейная шкала, критерий близости можно записать как $J(a)$. Минимум критерия определяется, приравнявая к нулю производные по неизвестным весам важности частных критериев $a_1, a_2, \dots, a_\mu, \mu = \overline{1, n}$. Для задачи (8) это приводит к системе линейных уравнений [7]:

$$\frac{\partial J(a)}{\partial a_\mu} = 2 \left[\sum_{r,k=1}^m q_{rk} (x_{r\mu} - x_{r\mu}) + 2 \sum_{j=1}^n a_j \sum_{r=1}^m x_{rj} (mx_{r\mu} - \sum_{k=1}^m x_{k\mu}) \right] = 0. \quad (9)$$

На четвертом шаге определяются веса важности критериев a_j . С учетом того, что построение линейного обобщенного критерия имеет смысл при ограничениях типа $a_j \geq 0, j = \overline{1, n}$, задача (8) решается при помощи метода неопределенных множителей Лагранжа [6], который заключается во введении функции типа:

$$J(a, \gamma) = J(a) + \sum_{j=1}^n \gamma_j a_j \quad (10)$$

и определения ее седловой точки (a^*, γ^*) согласно теореме Куна-Таккера [8] с учетом требований:

$$\frac{\partial J(a^*, \gamma^*)}{\partial a_\mu} \leq 0, \quad \mu = \overline{1, n}, \quad (11)$$

$$\frac{\partial J(a^*, \gamma^*)}{\partial \gamma_\eta} \geq 0, \quad \eta = \overline{1, n}, \quad (12)$$

где γ – неопределенные множители функции Лагранжа.

Условия (11, 12) являются необходимыми и достаточными условиями оптимальности точки a^* . Для решения задачи отыскания седловой точки используется градиентный метод Эрроу-Гурвица, состоящий из двух последовательных приближений согласно уравнениям [8]:

$$a_j^{t+1} = \max \left\{ 0, a_j^t - \lambda^t \frac{\partial J(a^t, \gamma^t)}{\partial a_j} \right\}; \quad (13)$$

$$\gamma_j^{t+1} = \max \left\{ 0, \gamma_j^t + \lambda^t \frac{\partial J(a^t, \gamma^t)}{\partial \lambda_j} \right\}. \quad (14)$$

На основе (10) подпроцедура (14) имеет вид:

$$\gamma_j^{t+1} = \max\{0, \gamma_j^t + \lambda^t a_j^t\}, \quad (15)$$

где λ – некоторое число, называемое шагом вычислений и заключенное между нулем и единицей ($0 \leq \lambda \leq 1$).

В качестве исходного допустимого решения задачи принимаются произвольные значения a_j^t и γ_j^t . Тогда критерием оценки качества получаемого решения являются неравенства $|a_j^{t+1} - a_j^t| \leq \varepsilon$ и $|\gamma_j^{t+1} - \gamma_j^t| \leq \varepsilon$, где $\varepsilon < 0,01$.

Величина $\frac{\partial J(a^t, \gamma^t)}{\partial a_j} = \frac{\partial J(a^t)}{\partial a_j} - \gamma_j^t$ определяется на основе выражения (9).

После получения значений с учетом требования $a_j \geq 0, j = \overline{1, n}$ неотрицательности весов возникает необходимость наложения ограничений на масштаб изменения значений обобщенного критерия, а именно:

$$\sum_{j=1}^n a_j = 1. \quad (16)$$

Вследствие чего полученные результаты нормируются следующим образом:

$$a_j^n = \frac{a_j}{\sum_{j=1}^n a_j}. \quad (17)$$

На пятом шаге, в соответствии с (1), определяются значения обобщенных критериев, что дает возможность линейного шкалирования рассматриваемых военных технологий.

В качестве примера рассмотрена гипотетическая задача сравнения предложений по созданию гибких термоэлектрических генераторов (ТЭГ), характеристики которых представлены в таблице 1.

В качестве частных критериев будут рассматриваться: минимальное число термоэлектрических пар, минимальный перепад температур, напряжение, удельная мощность.

На первом шаге, в соответствии с (2) и (3), осуществляется нормировка значений характеристик. Критерии «минимальный перепад температур» и «число пар» являются критериями вида «меньше-лучше», остальные «больше-лучше», в соответствии с этим отнормированные значения приведены в таблице 2.

Таблица 1 – Характеристики рассматриваемых термоэлектрических генераторов

№ п/п	Материал	Минимальное число термоэлектрических пар	Минимальный перепад температур, °С	Напряжение, мВ	Удельная мощность, Вт
1	$\text{Bi}_{0.4}\text{Sb}_{1.6}\text{Te}_3$ и $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$	7	30	83,3	$0,21 \times 10^{-6}$
2	Bi_2Te_3	8	19	7	$2,1 \times 10^{-6}$
3	Bi_2Te_3 и Sb_2Te_3	4	20	24	48×10^{-9}
4	Bi_2Te_3	20	7	2,1	15×10^{-9}
5	BiTe/SbTe	8	20	36,4	$40,3 \times 10^{-9}$
6	$\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$ и $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$	12	15	14,2	224×10^{-9}
7	Al, ZnO, и Zn-Sb	10	180	460	$2,5 \times 10^{-8}$

Таблица 2 – Нормированные характеристики ТЭГ

№ п/п	Минимальное число термоэлектрических пар	Перепад температур	Напряжение	Удельная мощность
1	0,813	0,867	0,177	0,094
2	0,750	0,931	0,011	1,000
3	1,000	0,925	0,048	0,016
4	0,000	1,000	0,000	0,000
5	0,750	0,925	0,075	0,012
6	0,500	0,954	0,026	0,100
7	0,625	0,000	1,000	0,005

На втором шаге определяется внутреннее парное отношение в виде матрицы Q . Для этого находится матрица $U = \|u_{rk}\|_{m,m}$ по формуле (4):

$$U = \begin{pmatrix} 0 & 0,926 & 0,248 & 0,847 & 0,156 & 0,358 & 1,213 \\ 0,926 & 0 & 1,016 & 1,252 & 0,990 & 0,934 & 1,688 \\ 0,248 & 1,016 & 0 & 1,004 & 0,251 & 0,508 & 1,379 \\ 0,847 & 1,252 & 1,004 & 0 & 0,758 & 0,513 & 1,546 \\ 0,156 & 0,990 & 0,251 & 0,758 & 0 & 0,271 & 1,314 \\ 0,358 & 0,934 & 0,508 & 0,513 & 0,271 & 0 & 1,372 \\ 1,213 & 1,688 & 1,379 & 1,546 & 1,314 & 1,372 & 0 \end{pmatrix}.$$

Далее привлекается дополнительная информация $P = \|p_{rk}\|_{m,m}$ (рассмотрен случай результатов обработки экспертного опроса), где эксперты указали следующее бинарное отношение технологий по правилу (5):

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

Затем на основе матриц $U = \|u_{rk}\|_{m,m}$ и $P = \|p_{rk}\|_{m,m}$ определяется отношение $Q = \|q_{rk}\|_{m,m}$ вида (6):

$$Q = \begin{pmatrix} 0,000 & -0,926 & -0,248 & 0,847 & -0,156 & 0,358 & 0,000 \\ 0,926 & 0,000 & 1,016 & -1,252 & 0,990 & -0,934 & 1,688 \\ 0,248 & -1,016 & 0,000 & -1,004 & 0,000 & 0,508 & 1,379 \\ -0,847 & 1,252 & 1,004 & 0,000 & 0,758 & 0,513 & 1,546 \\ 0,156 & -0,990 & 0,000 & -0,758 & 0,000 & 0,271 & -1,314 \\ -0,358 & 0,934 & -0,508 & -0,513 & -0,271 & 0,000 & -1,372 \\ 0,000 & -1,688 & -1,379 & -1,546 & 1,314 & 1,372 & 0,000 \end{pmatrix}.$$

На третьем шаге определяются вид отношений D и $J(Q, D)$. Так как матрица Q измерена в шкале разностей, то отношение D будет соответствовать виду (7), а минимизирующее отношение $J(Q, D)$ – виду (9).

На четвертом шаге определяются веса важности критериев с применением функции Лагранжа и градиентного метода Эрроу-Гурвица при помощи итерационных процессов (13), (15).

При этом используется $\lambda = 0,001 = const$. В качестве исходного допустимого решения задачи принимается $a_j^t = 0,1, \gamma_j^t = 0,1, \varepsilon < 0,01$.

Значения весов критериев a_j для каждой итерации приведены в таблице 3.

На пятой итерации можно наблюдать, что все значения ε приняли значение менее 0,01, таким образом, весовые коэффициенты $a_1 = 0,187$; $a_2 = 0,283$; $a_3 = 0,220$; $a_4 = 0,245$ являются удовлетворяющими по точности решению задачи отыскания седловой точки. Далее производится нормировка весовых коэффициентов по формуле (17):

$$a_1 = 0,200; a_2 = 0,302; a_3 = 0,235; a_4 = 0,269.$$

На пятом шаге, в соответствии с (1), определяются обобщенные критерии сравнения ТЭГ, позволяющие сформировать шкалу предпочтений объектов исследования (таблица 4), где 1 – лучший, 7 – худший.

Таким образом, в статье предложен подход к выбору наилучшей из некоторой совокупности однотипных технологий на основе аппроксимационного подхода, позволяющего шкалировать технологии по оси обобщенного критерия и сравнивать их между собой с учетом значений характеристик, которыми технологии описываются. Основным достоинством предлагаемого подхода является возможность решения задачи аналитическим методом без привлечения экспертов или минимальной дополнительной информации, получаемой от них в качественных и количественных оценках, включая результаты проведенных ранее экспертиз.

Подход может быть использован при формировании комплексов работ Программы развития базовых военных технологий, подпрограммы 6 Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период, а также отборе технологий двойного назначения, имеющих перспективу применения в оборонной сфере, для проведения военно-технических экспериментов.

Таблица 3 – Значения весов критериев в зависимости от итерации

	a_1	a_2	a_3	a_4	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4
Исходные данные	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
1 итерация	0,236	0,258	0,243	0,249	0,250	0,250	0,250	0,250
ε	-0,236	-0,258	-0,243	-0,249				
2 итерация	0,221	0,265	0,236	0,248	0,250	0,249	0,250	0,250
ε	0,014	-0,008	0,007	0,001				
3 итерация	0,208	0,273	0,229	0,247	0,249	0,249	0,249	0,249
ε	0,014	-0,007	0,007	0,001				
4 итерация	0,194	0,279	0,223	0,245	0,249	0,249	0,249	0,249
ε	0,014	-0,007	0,006	0,001				
5 итерация	0,187	0,283	0,220	0,245	0,249	0,249	0,249	0,249
ε	0,007	-0,003	0,003	0,000				

Таблица 4 – Шкала предпочтений технологий в зависимости от обобщенного критерия

№ п/п	Материал	Обобщенный критерий	Место в шкале предпочтений
1	$\text{Bi}_{0,4}\text{Sb}_{1,6}\text{Te}_3$ и $\text{Bi}_2\text{Te}_{2,7}\text{Se}_{0,3}$	0,4912	3
2	Bi_2Te_3	0,6961	1
3	Bi_2Te_3 и Sb_2Te_3	0,4954	2
4	Bi_2Te_3	0,3024	7
5	BiTe/SbTe	0,4508	4
6	$\text{Bi}_{0,5}\text{Sb}_{1,5}\text{Te}_3$ и $\text{Bi}_2\text{Te}_{2,7}\text{Se}_{0,3}$	0,4211	5
7	Al, легированный ZnO, и Zn-Sb	0,3901	6

Дальнейшими направлениями развития предложенного подхода являются:

- учет неоднородностей сравниваемых технологий (в случае сравнения технологий из смежных областей или при недостатке значений характеристик технологий);
- учет характеристик технологий, измеренных в качественных шкалах;
- возможность комбинированного подхода с эвристическими методами сравнительной оценки альтернатив.

Список источников

1. Ларичев О.И. Наука и искусство принятия решений. М.: Наука, 1979. 200 с.
2. Майданчик Б.И. Сравнительный экономический анализ в машиностроении. М. Машиностроение, 1973. 240 с.
3. Пронин А.Ю., Лясковский В.Л. К вопросу формирования экспертных групп и оценке компетентности специалистов, привлекаемых для научно-технических экспертиз // Научный вестник ОПК России. 2023. №3. С. 76-82.
4. Лясковский В.Л., Смирнов С.С., Пронин А.Ю. Методика оценки компетентности экспертов в процессе формирования предложений в проекты программных документов // Вооружение и экономика. 2013. №3(24). С. 54-59.
5. Методы военно-научных исследований систем вооружения / Под общ. ред. В.М. Буренка. М.: Граница, 2017. 511 с.
6. Авен П.О., Мучник И.Б., Ослон А.А. Функциональное шкалирование. М.: Наука, 1988. 182 с.
7. Литвак Б.Г. Экспертная информация: методы получения и анализа. М.: Радио и связь, 1982. 184 с.
8. Браверман Э.М. Математические модели планирования и управления в экономических системах. М.: Наука, 1976. 368 с.

Информация об авторах

- С.В. Стукалин – кандидат технических наук, доцент, SPIN код автора 6402-8084.
Д.Г. Хованов – кандидат технических наук.
Г.Ю. Першиков – SPIN код автора 4783-8860.

Научная статья
УДК 623.62

Методика оценки технико-экономического выигрыша от использования технологии программируемого радио при создании техники радиоэлектронной борьбы

Юрий Митрофанович Глазунов, Роман Сергеевич Аносов, Дмитрий Михайлович Бывших

Аннотация. Рассмотрена возможность применения технологии программируемого радио при построении образцов техники радиоэлектронной борьбы (РЭБ). Показано, что внедрение технологии не только обеспечит повышение эффективности средств РЭБ, но и позволит получить существенный технико-экономический выигрыш по сравнению с исходной системой вооружения РЭБ, для которой образцы, входящие в нее, построены по традиционной аппаратной схеме. Представлены расчетные соотношения для оценки технико-экономического выигрыша при использовании рассматриваемой технологии.

Ключевые слова: техника радиоэлектронной борьбы; программируемое радио; унификация; технико-экономический выигрыш

Для цитирования: Глазунов Ю.М., Аносов Р.С., Бывших Д.М. Методика оценки технико-экономического выигрыша от использования технологии программируемого радио при создании техники радиоэлектронной борьбы // Вооружение и экономика. 2024. №3(69). С. 47-51.

Original article

Methodology of the Technical and Economic Benefit Assessment of the Programmable Radio Technology Application the Electronic Warfare Equipment Development

Iurii M. Glazunov, Roman S. Anosov, Dmitrii M. Byvshikh

Abstract. The possibility of programmable radio technology application in the construction of electronic warfare (EW) equipment samples is considered. It is shown that technology implementation will not only provide an electronic warfare efficiency improvement, but it will also make possible to gain a significant technical and economic benefit compared to the original electronic warfare weapon system, which samples are built according to the traditional hardware scheme. The calculated ratios for the technical and economic benefits assessment of the considered technology application are presented.

Keywords: electronic warfare technology; programmable radio; unification; technical and economic benefit

For citation: Glazunov Iu.M., Anosov R.S., Byvshikh D.M. Methodology of the Technical and Economic Benefit Assessment of the Programmable Radio Technology Application the Electronic Warfare Equipment Development. Voоружение i ekonomika = Armament and Economics. 2024;69(3): 47-51. (In Russ.).

Радиоэлектронная борьба как наиболее наукоемкий и технологичный вид боевого обеспечения остро нуждается во внедрении новейших технологических достижений [1]. Одним из перспективных направлений совершенствования средств РЭБ в настоящее время является внедрение технологии программируемого радио (SDR – Software-Defined Radio) [2]. Основная идея SDR при построении образцов техники РЭБ заключается в оцифровке сигналов, поступающих на входные тракты аппаратуры, и в использовании их в дальнейшем для излучения. В отличие от традиционно построенных (аппаратно построенных) средств такой подход требует применения специализированного цифрового компьютера (DSP) для обработки, запоминания и выбора оцифрованных сигналов и реализующего требуемые алгоритмы их обработки [3; 4]. В зарубежной литературе и в некоторых отечественных источниках используется соответствующее понятие Digital Radio Frequency Memory (DRFM). Т.е. технология и устройства DRFM позволяют получать и хранить в цифровой форме копии радиочастотных сигналов, а также выполнять их последующую цифровую обработку с целью формирования сигналов с модуляцией различного вида. Механизм функционирования системы с DRFM позволяет применять ее для оказания мешающего воздействия на системы связи и радиоразведки противника. Также эта система может вводить противника в заблуждение посредством имитации работы собственной РЛС или системы связи и излучения соответствующих импульсных и модулированных сигналов. Технология DRFM позволяет создавать компактные устройства, которые могут быть установлены на транспортных средствах многих типов, в том числе на небольших летательных аппаратах. При изменении решаемых задач

зачастую нет необходимости заменять всю систему РЭБ с ее радиочастотным блоком, достаточно внести необходимые изменения в программно-цифровую часть. Такой подход построения образцов техники РЭБ позволяет быстро и малыми затратами ресурсов совершенствовать (модернизировать) образец. Это достигается путем внесения требуемых изменений в программное обеспечение DSP, входящего в образец техники РЭБ с DRFM. Кроме того, использование технологии SDR для построения образцов техники РЭБ, входящих в систему вооружения РЭБ, потенциально обеспечивает повышение уровня их унификации.

Действительно, ввиду того, что при использовании принципов программируемого радио выполнение ряда из функций образца, возложенных на него, обеспечивается за счет DSP с заложенным в него специальным программным обеспечением обработки радиосигналов, поступающих из входящих трактов образца, то по сравнению с исходным вариантом в таких образцах происходит объединение (замена) ряда исходных конструктивов в один, обладающий большими возможностями и более высокими параметрами с точки зрения выполнения функции обработки сигналов. В частности, для таких конструктивов возможно выполнение функции обработки сигналов в расширенном диапазоне рабочих частот, обработки и анализ параметров разного вида сигналов с различными видами модуляции и демодуляции и т.п.

Все это приводит зачастую к возможности использования таких конструктивов в образцах техники других групп однородных образцов, входящих в исходную систему вооружения РЭБ. Фактически речь идет о потенциальном расширении объекта унификации [5] применительно к этой (новой) системе техники и об изменении технико-экономических и эксплуатационно-технических параметров перспективной системы техники РЭБ. За счет этого возникает, по сравнению с исходной системой вооружения РЭБ, для которой образцы, входящие в нее, построены по традиционной аппаратной схеме, существенный технико-экономический выигрыш для системы вооружения РЭБ в целом.

В интересах оценки технико-экономического выигрыша (ТЭВ) от использования принципов программируемого радио при создании техники РЭБ применяем и исходим из следующих положений (условий).

1. Оценку проводим применительно ко всей перспективной системе вооружения РЭБ.
2. Для исходного варианта оценки ТЭВ перспективной системы техники принимаем, что образцы техники, входящие в нее, построены традиционно без использования технологии программированного радио.

3. Для исходного варианта перспективной системы техники принимаем, что для нее решена задача системной унификации, то есть выбраны и заданы варианты унификации образцов, входящих в систему техники, и они являются оптимальными (рациональными) с позиций всей системы техники. Из этого следует, что выбраны (заданы) группы однородных образцов техники и их составных частей (СЧ), применительно к которым выбраны и заданы направления их унификации (базовые изделия, типоразмерные ряды изделий и т.д.).

В качестве величины ТЭВ принимается разность полных предстоящих затрат на создание и эксплуатацию образцов, входящих в перспективную систему вооружения РЭБ, между вариантом построения этих образцов с использованием технологии программируемого радио и образцов исходного варианта техники РЭБ.

Как уже говорилось выше, технико-экономический эффект возможен за счет замены некоторого количества конструктивов на один более совершенный конструктив рассматриваемого образца, построенного с использованием технологии программируемого радио. В общем виде схему возможных замен конструктивов (составных частей) образцов техники, входящих в систему вооружения РЭБ на более совершенные конструктивы (составные части) образца, построенного с использованием технологии программируемого радио можно представить в виде рисунка 1.

На приведенной схеме $O_1^n \div O_{m_n}^n$ – это образцы, построенные традиционно, которые относились к различным группам однородных образцов, между которыми не была возможна замена (взаимозамена) СЧ при традиционном построении рассматриваемого образца O^* , составные части которого могут быть использованы в образцах $O_1^n \div O_{m_n}^n$ при возможности построения его с использованием технологии программируемого радио. Возможность замены СЧ

образцов $O_1^n \div O_{m_n}^n$ составными частями образца O^* появилась за счет использования технологии программируемого радио и расширения их возможностей по выполнению функций обработки сигналов (в расширенном диапазоне рабочих частот, обработки и анализа параметров разного вида сигналов с различными видами модуляции и демодуляции и т.п.). В состав n -й группы однородных образцов техники РЭБ входят лишь те образцы исходной системы вооружения РЭБ, составные части которых ($СЧ_{M_n}^n$) могут быть заменены на одноименную n -ю составную часть ($СЧ_n^*$) образца техники РЭБ, построенного с использованием технологии SDR. Составные части образцов для разных однородных групп отличаются выполняемыми функциями, а внутри однородных групп отличаются «уровнем» выполнения соответствующих функций. В качестве образца техники РЭБ, который будет построен с использованием технологии SDR (O^*), выбирается образец, входящий в исходную систему вооружения РЭБ и обладающий наиболее широкими возможностями по выполнению соответствующих функций по обработке сигнала. Кроме того, считаем, что определен предпочтительный (оптимальный, рациональный) вариант его построения [6; 7] с использованием технологии SDR. На этой схеме введены следующие обозначения:

$n = 1, 2, \dots, N$ – номер группы образцов техники, СЧ которых ($СЧ_{M_n}^n$) могут быть заменены на n -ю СЧ ($СЧ_n^*$) рассматриваемого образца техники, построенного с использованием технологии программируемого радио;

$m_n = 1, 2, \dots, m_n$ – номер СЧ образца n -й группы, которая может быть заменена на n -ю СЧ образца, построенного с использованием технологии программируемого радио;

$W_{m_n}^n, W_n$ – величина спроса на соответствующие СЧ образцов.

Как говорилось выше, в качестве величины технико-экономического выигрыша от применения технологии программируемого радио при создании образцов техники, входящей в систему вооружения РЭБ, принимается разность полных предстоящих затрат на создание и эксплуатацию всех образцов техники РЭБ системы для двух принятых выше состояний системы.

В общем виде полные предстоящие затраты на создание и эксплуатацию любых вновь разрабатываемых (модернизируемых) образцов техники РЭБ определяются в соответствии со следующим соотношением:

$$S = C_{окр} + W \cdot C_{сер} + TWC_{экс}, \tag{1}$$

где $C_{окр}$, $C_{сер}$, $C_{экс}$ – затраты на проведение ОКР, серийное производство и годовую эксплуатацию одного образца, соответственно;

W – величина спроса на образец в штуках;

T – продолжительность эксплуатации образца в годах.

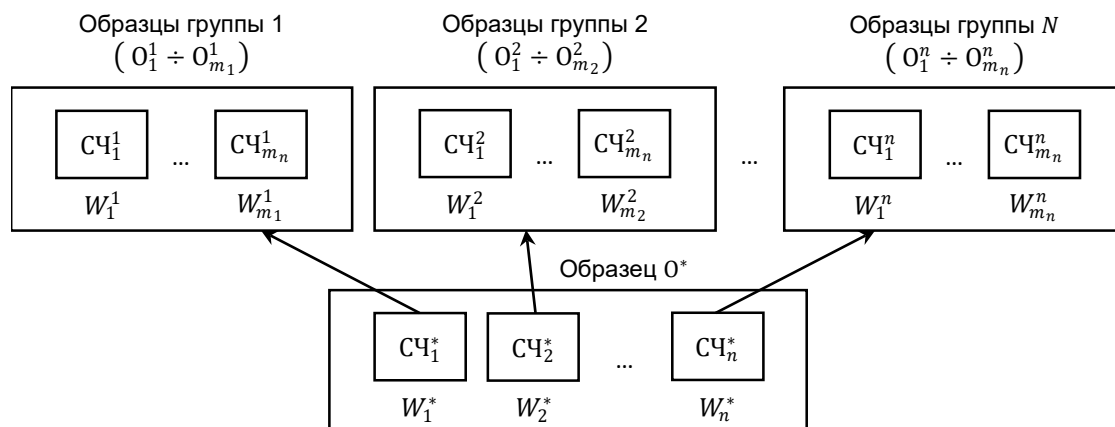


Рисунок 1 – Схема возможных замен составных частей образцов системы вооружения РЭБ составными частями образца, построенного с использованием технологии SDR

Тогда искомая величина технико-экономического выигрыша определяется как:

$$S = S_1 - S_2, \quad (2)$$

где S_1 и S_2 полные предстоящие затраты на создание и эксплуатацию образцов техники РЭБ, входящих в систему вооружения РЭБ, для первого описанного выше состояния и второго, соответственно.

Для приведенной на рисунке 1 схемы возможных замен (унификации) между образцами различных групп однородных образцов техники РЭБ, входящих в систему вооружения РЭБ, без нарушения общности рассматриваемой задачи, считаем, что между образцами $O_1^n \div O_{m_n}^n$ и образцом O^* не существуют другие варианты возможных замен конструктивов (составных частей) образцов, кроме отмеченных на схеме. В силу этого в соответствии с соотношением (2) при подсчете величин S_1 и S_2 в соответствии с (1) будем брать (учитывать) затраты на создание и эксплуатацию лишь на отмеченные на схеме конструктивы (составные части).

Тогда:

$$S_1 = \sum_{n=1}^N C_n^{\text{окр}} + \sum_{n=1}^N \sum_{m_n=1}^{M_n} C_{n,m_n}^{\text{окр}} + \sum_{n=1}^N W_n C_n^{\text{сер}} + \sum_{n=1}^N \sum_{m_n=1}^{M_n} C_{n,m_n}^{\text{сер}} W_{n,m_n} + \sum_{n=1}^N W_n T_n C_n^{\text{э}} + \sum_{n=1}^N \sum_{m_n=1}^{M_n} W_{n,m_n} T_{n,m_n} C_{n,m_n}^{\text{э}}, \quad (3)$$

$$S_2 = \sum_{n=1}^N C_n^{\text{окр}} + \sum_{n=1}^N (\sum_{m_n=1}^{M_n} W_{n,m_n} + W_n) \leftrightarrow C_n^{\text{сер}1} + \sum_{n=1}^N (\sum_{m_n=1}^{M_n} W_{n,m_n} + W_n) T_n C_n^{\text{э}}, \quad (4)$$

$$\Delta S = \sum_{n=1}^N \sum_{m_n=1}^{M_n} C_{n,m_n}^{\text{окр}} + \sum_{n=1}^N W_n (C_n^{\text{сер}} - C_n^{\text{сер}1}) + \sum_{n=1}^N \sum_{m_n=1}^{M_n} W_{n,m_n} (C_{n,m_n}^{\text{сер}} - C_n^{\text{сер}1}) + \sum_{n=1}^N \sum_{m_n=1}^{M_n} W_{n,m_n} (T_{n,m_n} C_{n,m_n}^{\text{э}} - T_n C_n^{\text{э}}), \quad (5)$$

где $C_n^{\text{окр}}$, $C_n^{\text{сер}}$, $C_n^{\text{э}}$, W_n – затраты на проведение ОКР, серийное производство и годовую эксплуатацию n -й составной части образца O^* , величина и спрос без учета реализации работ по унификации (возможных замен СЧ на составные части образца O^*) по системе вооружения РЭБ, соответственно;

$C_n^{\text{сер}1}$ – затраты на серийное производство n -й составной части образца O^* с учетом возрастания их серийности по результатам реализации работ по унификации (возможные затраты на составную часть образца O^*) по системе вооружения РЭБ в целом;

W_{n,m_n} – величина спроса на m_n -ю составную часть n -й однородной группы образцов техники РЭБ, входящих в систему вооружения РЭБ;

T_n, T_{n,m_n} – продолжительность эксплуатации образца O^* и образцов $O_{m_n}^n$, входящих в систему вооружения РЭБ, соответственно;

$C_{n,m_n}^{\text{окр}}$ – затраты на проведение ОКР по созданию m_n -й составной части n -й однородной группы образцов техники РЭБ, входящих в систему вооружения РЭБ, без учета реализации работ по унификации (возможных замен на составную часть образца O^*) по системе вооружения РЭБ в целом.

Для получения более простых с точки зрения расчетов величины ΔS без ограничения общности с учетом продолжительного (5-15 лет) планового периода и в соответствии с [8] полагаем:

$$C^{\text{сер}} = \alpha C^{\text{окр}}, \quad (6)$$

где $\alpha = 0,1 \div 0,4$ для различных групп образцов техники РЭБ и их СЧ – коэффициент, связывающий стоимость серийного производства со стоимостью разработки.

Кроме того, стоимость серийного производства (изготовления) в соответствии с [8], определяется с учетом снижения себестоимости производства за счет повышения серийности образцов и их составных частей, возрастающей за счет увеличения величины спроса на образец (составную часть) (W).

При этом выполняется соотношение:

$$C^{\text{сер}} = C_0^{\text{сер}} \cdot W^{-0,0981}, \quad (7)$$

где $C_0^{\text{сер}}$ – стоимость серийного производства исходного (неунифицированного) образца (составной части образца).

Используя приведенные соотношения (6), (7) и полагая, что с достаточной для проведения оценок технико-экономического выигрыша точностью выполняются соотношения $T_n = T_{n,m_n}, C_n^{\text{э}} = C_{n,m_n}^{\text{э}}$ после проведения соответствующих подстановок в (5) и дальнейшего преобразования полученных при этом выражений, получаем следующее выражение для величины технико-экономического выигрыша:

$$\Delta S = \sum_{n=1}^N \left\{ \alpha \left[W_n - \left(W_n + \sum_{n=1}^N \sum_{m_n=1}^{M_n} W_{n,m_n} \right)^{-0,0019} \right] C_{n,m_n}^{\text{окр}} + \sum_{m_n=1}^{M_n} (1 + \alpha W_{n,m_n}) C_{n,m_n}^{\text{окр}} \right\}. \quad (8)$$

Таким образом, величину технико-экономического выигрыша от использования технологии SDR и создания техники РЭБ применительно к перспективной системе вооружения РЭБ в целом можно рассчитать, зная стоимость проведения ОКР по созданию СЧ образца, построенного с использованием технологии SDR (O^*), стоимости проведения ОКР по созданию СЧ образцов однородных групп в варианте их создания по традиционной схеме без применения технологии SDR, а также зная спрос на все СЧ образцов техники РЭБ, входящих в перспективную систему вооружения РЭБ.

Список источников

1. Радиоэлектронная борьба. От экспериментов прошлого до решающего фронта будущего / Под ред. Н.А. Колесова, И.Г. Насенкова. М.: Центр анализа стратегий и технологий, 2015. 248 с.
2. Jones E. Software Defined Radios, Cognitive Radio and the Software Communications Architecture (SCA) in relation to COMMS, radar and ESM (UK, September 18, 2008) // IET Seminar on Cognitive Radio and Software Defined Radios: Technologies and Techniques. L.: IET, 2008. DOI: 10.1049/ic:20080393.
3. Егоров Н., Кочемасов В. Технология цифровой радиочастотной памяти и ее применение в системах РЭБ // Электроника: наука, технология, бизнес. 2016. №10(160). С. 62-71.
4. Силин А. Технология Software Defined Radio. Теория, принципы и примеры аппаратных платформ // Беспроводные технологии. 2007. №2(7). С. 22-27.
5. Крейтер С.В., Постыка В.М., Чернов Б.И., Яременко О.В. К вопросу обоснования системы понятий в области унификации // Стандарты и качество. 1983. №9. С. 26-31.
6. Глазунов Ю.М., Аносов Р.С., Бывших Д.М. Методика обоснования рационального типажа перспективных образцов техники радиоэлектронной борьбы // Вооружение и экономика. 2019. №1(47). С. 10-17.
7. Годуйко В.А., Луценко А.Д., Маевский Ю.И. Методический подход к обоснованию рационального типажа средств информационного обеспечения радиоэлектронных систем // Радиотехника. 2008. №6. С. 78-80.
8. Чуев Ю.В., Спехова Г.П. Технические задачи исследования операций. М.: Советское радио, 1971. 244 с.

Информация об авторах

Ю.М. Глазунов – кандидат технических наук, старший научный сотрудник.
 Р.С. Аносов – кандидат технических наук, доцент.
 Д.М. Бывших – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, SPIN код автора 1879-9333.

ВОЕННАЯ ЭКОНОМИКА

Научная статья
УДК 355/359

Обоснование оптимального начала переоснащения войск на перспективные виды вооружения с учетом этапов их жизненного цикла

Александр Васильевич Леонов, Алексей Юрьевич Пронин,
Константин Викторович Лендоев

Аннотация. Представлен метод военно-экономического обоснования оптимального начала переоснащения войск на перспективные виды вооружения с учетом этапов их жизненного цикла. Сформулирована постановка задачи обоснования оптимального начала переоснащения и предложен алгоритм ее решения. Приведен практический пример использования предложенного метода. Для повышения оперативности обоснования оптимального начала переоснащения на основе изложенного метода, представляется целесообразным в дальнейшем использовать современные инструментальные возможности и технологии искусственного интеллекта.

Ключевые слова: переоснащение; вооружение; программно-целевое планирование; военно-экономическое обоснование; затраты; жизненный цикл

Для цитирования: Леонов А.В., Пронин А.Ю., Лендоев К.В. Обоснование оптимального начала переоснащения войск на перспективные виды вооружения с учетом этапов их жизненного цикла // Вооружение и экономика. 2024. №3(69). С. 53-62.

Original article

Justification of Optimal Forces Re-Equipment Beginning with Advanced Weapon Types in Reliance on Their Life Cycle Stages

Aleksandr V. Leonov, Aleksei Iu. Pronin, Konstantin V. Lendoev

Abstract. A method of military-economic justification of the optimal start of re-equipping forces with advanced types of weapons is presented, taking into account the stages of their life cycle. The problem statement of the optimal start justification of re-equipment is formulated and an algorithm for its solution is proposed. A practical example of using the proposed method is given. In order to increase the efficiency of the optimal start justification of re-equipment based on the described method, it seems advisable to use modern instrumental capabilities and artificial intelligence technologies in years ahead.

Keywords: re-equipment; weapon; program-oriented and goal-oriented planning; military and economic justification; costs; life cycle

For citation: Leonov A.V., Pronin A.Iu., Lendoev K.V. Justification of Optimal Forces Re-Equipment Beginning with Advanced Weapon Types in Reliance on Their Life Cycle Stages. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2024;69(3): 53-62. (In Russ.).

Необходимость своевременного переоснащения войск на перспективные виды вооружения объективно обусловлена современными геополитическими и военно-экономическими условиями в мире. В данных условиях запаздывание в переоснащении войск чревато негативными последствиями для обороны страны и безопасности государства. Но переоснащение войск на перспективные виды вооружения – это весьма сложный, длительный и затратный процесс, который включает в себя совокупность этапов по их разработке (включая формирование научно-технического задела), серийному производству, закупкам, капитальному ремонту, модернизации и др., то есть этапов жизненного цикла. Процесс переоснащения осуществляется в условиях ограничений по ресурсам и времени, возможностям оборонно-промышленного комплекса и базируется на методологии программно-целевого планирования.

В рамках технического оснащения Вооруженных Сил (ВС) РФ, основы которого (в том числе организационные, экономические и методологические) подробно изложены в монографии [1], проблема военно-экономического обоснования переоснащения войск на перспективные виды вооружения, с учетом проведения специальной военной операции на Украине, приобретает первостепенную, можно даже сказать, стратегическую важность.

Военно-экономическое обоснование переоснащения войск предполагает использование двух критериев, первый из которых отражает военный (боевой), а второй – экономический (в том числе затратный и временной) аспекты¹. Один из примеров использования данных

¹ С м.: Викулов С.Ф. Военно-экономический анализ: учебник. М.: ВУ, 2015. 340 с.; с м. также [2-4].

критериев для военно-экономической оценки вариантов применения смешанного парка вооружения в условиях финансовых и технологических ограничений приведен в работе [5]. В данной работе использован метод целочисленного линейного программирования, а в качестве критерия – относительное приращение боевого потенциала группировки войск (сил) за счет совместного использования существующего и перспективного вооружения.

Следует отметить, что «переоснащение» – это сложная категория, которая заслуживает глубокого изучения и научного осмысления (в том числе военно-экономического) в рамках технического оснащения ВС РФ. Однако в данной статье основное внимание сосредоточено не на самой категории «переоснащение» и не на процессе, который она обозначает, а на обосновании оптимального начала переоснащения² войск на основе военно-экономической оценки возможных вариантов совместного использования существующих и перспективных видов вооружения (вариантов переоснащения) с учетом этапов их жизненного цикла. При этом авторы акцентировали внимание не на определении рациональных значений стоимостных и временных показателей мероприятий по техническому оснащению ВС РФ, как это показано в монографии [1], а на различных вариантах переоснащения и выборе из них оптимального. В этом и состоит новизна предлагаемого метода.

Ниже представлено основное содержание метода и пример его практической реализации.

Метод обоснования оптимального начала переоснащения войск на перспективные виды вооружения

Предлагаемый метод включает в себя следующие ключевые положения:

- принципы переоснащения;
- множество вариантов переоснащения;
- исходные данные, условия и допущения;
- целевую функцию;
- постановку задачи обоснования оптимального начала переоснащения и методический подход к ее решению.

В основу метода положены следующие принципы переоснащения:

- принцип соответствия оптимального начала переоснащения научно обоснованному варианту переоснащения, в котором оптимальным образом сочетаются этапы жизненного цикла существующих и перспективных видов вооружения с учетом рациональных значений их стоимостных и временных показателей (принцип соответствия);
- принцип сопоставления полных предстоящих затрат на выполнение боевых задач группировкой войск (сил) с использованием только существующих (традиционных) видов вооружения и при их совместном использовании с перспективными видами вооружения (принцип сравнительной оценки).

Различные варианты переоснащения формируются на основе рациональных значений стоимостных и временных показателей мероприятий по техническому оснащению ВС РФ [1] с учетом этапов жизненного цикла существующих и перспективных видов вооружения, в том числе:

для существующих видов вооружения:

- серийные закупки;
- капитальный ремонт;
- модернизация (в том числе глубокая, средняя и незначительная);

для перспективных видов вооружения:

- полномасштабная разработка перспективных видов вооружения с принципиально новыми свойствами и возможностями с учетом формирования научно-технического задела для их создания;
- полномасштабная разработка перспективных видов вооружения (в этом случае изменения в конструктивно-технологических решениях перспективного вооружения могут быть как связаны, так и не связаны с приданием ему новых принципиальных свойств и возможностей).

² Под оптимальным началом переоснащения понимается такой момент времени, начиная с которого целесообразно проводить переоснащение войск в рассматриваемом программном периоде.

Из сочетания этих этапов жизненного цикла существующих и перспективных видов вооружения формируются различные варианты переоснащения, например:

- серийные закупки только существующего вооружения;
- капитальный ремонт существующего вооружения и серийное производство перспективного вооружения;
- модернизация существующего вооружения и серийное производство перспективного вооружения и т.д.

При этом каждому варианту переоснащения (с учетом стоимостных и временных показателей мероприятий по техническому оснащению) будет соответствовать свое начало переоснащения. На основе сформированных вариантов переоснащения представляется возможным проводить военно-экономическое обоснование оптимального варианта переоснащения и определить оптимальный срок начала переоснащения.

Для обоснования оптимального начала переоснащения войск на перспективные виды вооружения в интересах корректного учета полных затрат, а также обеспечения сопоставимости оценок затрат для различных вариантов переоснащения в течение программного периода используются следующие исходные данные, а также условия и допущения:

- оценка проводится для конкретной боевой задачи группировки войск (сил), ее фиксированного состава и условий выполнения задачи при соблюдении тождества эффективности, т.е. достижения требуемой эффективности выполнения боевой задачи как за счет применения в составе группировки войск только существующих видов вооружения, так и при их совместном использовании с перспективными видами вооружения;

- затраты на создание и применение перспективных видов вооружения одинаковы для различных вариантов переоснащения;

- при определении полных затрат и предпочтительного варианта переоснащения рассматривается весь программный период времени $T = [t_0, T_k]$ в котором t_0 – начало первого года, а T_k – последний год программного периода. Момент времени t_p начала переоснащения на перспективные виды вооружения находится в интервале $t_0 \leq t_p \leq T_k$. Полные затраты подразделяются на две группы: затраты до переоснащения (период времени $t = [t_0, t_{p-1}]$); затраты после переоснащения на перспективные виды вооружения (период времени $t = [t_p, T_k]$).

Структура полных затрат до переоснащения (период времени $t = [t_0, t_{p-1}]$) включает в себя следующие составляющие:

- затраты на поддержание текущей укомплектованности группировки войск (сил) до момента ее переоснащения;
- затраты на переоснащение традиционными видами вооружения;
- затраты на применение традиционных видов вооружения;
- затраты на восполнение потерь группировки войск (сил) до переоснащения.

Структура полных затрат после переоснащения ($t = [t_p, T_k]$) включает в себя следующие составляющие:

- затраты на разработку и закупку перспективных видов вооружения;
- затраты на применение в ходе выполнения боевой задачи;
- затраты на восполнение потерь, в том числе затраты на закупку перспективных (модернизированных) видов вооружения взамен выбывших в ходе выполнения боевой задачи;
- затраты на восполнение потерь после переоснащения.

Могут быть учтены и другие виды затрат, например, на проведение ремонтных работ, техническое обслуживание, хранение существующих и перспективных видов вооружения, утилизацию и др. Возможность учета различных видов затрат определяется наличием соответствующих достоверных исходных данных.

В интересах обеспечения сопоставимости оценок полных затрат в качестве целевой функции рассматриваются усредненные за весь программный период (T) полные предстоящие затраты $C_i(t)$ на выполнение боевой задачи группировкой войск (сил):

$$C_i(t) = \frac{1}{T} \{C^T(t = [t_0, t_{p-1}]) + C_i^{ТП}(t = [t_p, T_k])\}, \quad (1)$$

где $C^T(t)$ – полные затраты до переоснащения (определяются в виде суммы перечисленных выше составляющих); $C_i^{ТП}$ – полные затраты после переоснащения на перспективные виды вооружения (определяются в виде суммы перечисленных выше составляющих). Под i -м вариантом переоснащения ($i = 1, \dots, N$) понимается один из множества N возможных вариантов сочетания этапов жизненного цикла существующих и перспективных видов вооружения.

Следует отметить роль такого аргумента в целевой функции (1) как последний год программного периода (T_k). Необходимость его использования обусловлена тем, что определение оптимального варианта переоснащения, обеспечивающего минимум полных предстоящих затрат, возможно только при совместном рассмотрении этапов жизненного цикла существующих и перспективных видов вооружения, которые могут охватывать несколько программных периодов.

Анализ выражения (1) показал, что значение $C_i(t)$ будет неодинаково при выборе разных моментов начала переоснащения в программном периоде. Это связано с различной продолжительностью применения не переоснащенной группировки войск (сил) при варьировании значения времени t_p . В этой связи необходимо определить такой момент времени для реализации i -го варианта переоснащения, при котором значение $C_i(t)$ будет минимальным. Таким образом, задача определения оптимального начала переоснащения формулируется следующим образом.

Требуется определить такой оптимальный момент времени t_p^* для реализации i -го варианта переоснащения (далее, для упрощения индекс i опущен), при котором значение $C(t)$ будет минимальным при выполнении боевой задачи группировкой войск (сил) с требуемым уровнем эффективности $W_{\text{треб}}$, а затраты на переоснащение $C^{ТП}(t_p)$ не превысят финансовые ограничения $C_{\text{зад}}$:

$$C(t_p^*) = \underset{t_p \in T}{\operatorname{argmin}} \frac{1}{T} \{C^T(t = [t_0, t_{p-1}]) + C_i^{ТП}(t = [t_p, T_k])\}, \quad (2)$$

при $W \geq W_{\text{треб}}$ и $C^{ТП}(t_p) \leq C_{\text{зад}}$.

Предложен следующий методический подход определения оптимального значения времени t_p^* для каждого анализируемого варианта переоснащения, который заключается в следующем. Сначала в качестве момента переоснащения рассматривается первый год программного периода, т.е. $t_p = t_0$. В этом случае полные предстоящие затраты на выполнение боевой задачи за весь программный период рассчитываются при условии применения переоснащенной группировки войск (сил). Аналогичным образом рассчитываются полные предстоящие затраты при условии, что переоснащение группировки войск (сил) проводится в каждый последующий год до момента времени T_k включительно. При этом учитывается, что возможности научно-исследовательской, испытательной и производственной баз позволяют к этому моменту времени создать необходимые для переоснащения перспективные виды вооружения, с одной стороны, а с другой стороны, затраты на переоснащение не превышают финансовые ограничения.

На основе использования данного подхода, представляется возможным построить функцию затрат, отражающую изменение во времени усредненных за программный период полных предстоящих затрат на выполнение боевой задачи с требуемым уровнем эффективности в зависимости от момента переоснащения группировки войск. Функция затрат является основой для определения оптимального значения t_p^* . При этом каждому фиксированному значению t_p будет соответствовать одна точка функции затрат. Оптимальное время переоснащения $t_p = t_p^* = t_{\text{опт}}$ достигается при минимальном значении функции затрат. Год программного периода, соответствующий минимальному значению функции затрат, и будет являться оптимальным моментом времени t_p^* для переоснащения группировки войск (сил). При этом для каждого из рассматриваемых вариантов переоснащения определяется

оптимальное значение t_p^* . Следует отметить, что вполне возможен вариант, для которого функция затрат будет принимать минимальное значение лишь в следующем программном периоде. Тогда и следует планировать переоснащение группировки войск (сил).

Таким образом, военно-экономическое обоснование оптимального начала переоснащения группировки войск (сил) на основе сравнительной оценки вариантов совместного использования существующих и перспективных видов вооружения является многоэтапной, многовариантной и многокритериальной задачей. Данное обстоятельство послужило основанием для алгоритмизации предложенного метода. Пример практической реализации метода приведен ниже.

Пример практической реализации метода

Покажем, как реализуется предложенный метод обоснования оптимального начала переоснащения войск на перспективные виды вооружения с использованием алгоритма оптимизации расходов на повышение боевых возможностей группировки войск (сил), приведенного в работе [6].

В соответствии со сложившейся к настоящему времени терминологией [7, с.22] в состав типовой группировки войск (сил) входят ударная и обеспечивающая системы, а также управляющая система. В каждую из этих систем входят как существующие, так и перспективные виды вооружения. В работе [8] показано, что с военно-экономической точки зрения эти виды вооружения могут и должны использоваться совместно.

Упомянутая в работе [6] интерактивная модель в интересах реализации предложенного метода представлена как экспериментальная модель переоснащения войск (сил), основанная на человеко-машинном взаимодействии оператора – исследователя (экспериментатора) и программно-алгоритмического комплекса (технологическая система).

Общий алгоритм экспериментальной модели приведен на рисунке 1.

При построении экспериментальной модели приняты следующие исходные положения, условия и допущения.

1. Момент начала переоснащения на перспективные виды вооружения может находиться на любом этапе программного периода.

2. Переоснащение может осуществляться не только за счет финансовых средств, выделяемых на реализацию государственной программы вооружения, но и за счет перераспределения части запланированных финансовых средств на одну из систем, входящих в группировку войск (сил), в пользу других систем (системы).

Предварительные результаты расчетов показали [6], что снижение некоторой доли финансовых средств на ударную систему (например, за счет таких мероприятий, как проведение модернизации некоторых существующих образцов ВВСТ вместо закупок новых образцов и др.), в целом, незначительно скажется на боевых возможностях группировки войск (сил). Но, с другой стороны, это может позволить существенно повысить эффективность обеспечивающей системы и ее влияние на эффективность ударной системы, а также боевые возможности группировки войск (сил) за счет проведения следующих программных мероприятий: оптимизация номенклатуры средств обеспечивающей системы; закупки новых образцов; совершенствование научно-технического задела (НТЗ) для создания новых образцов и т.д.

Таким образом, под переоснащением в данном случае понимается процесс поэтапного перераспределения части финансовых средств, выделяемых на всю группировку войск (сил), в пользу одной системы, в частности, обеспечивающей системы. В данном случае динамика поэтапного перераспределения финансовых средств отождествляется со сроком начала переоснащения группировки войск (сил) на перспективные виды вооружения, т.е. каждому этапу перераспределения финансовых средств соответствует момент времени начала переоснащения.

3. Соблюдается тождество эффективности, т.е. одинаковое приращение эффективности выполнения боевой задачи как за счет применения в составе группировки войск (сил) только существующих видов вооружения, так и при их совместном использовании с перспективными видами вооружения.

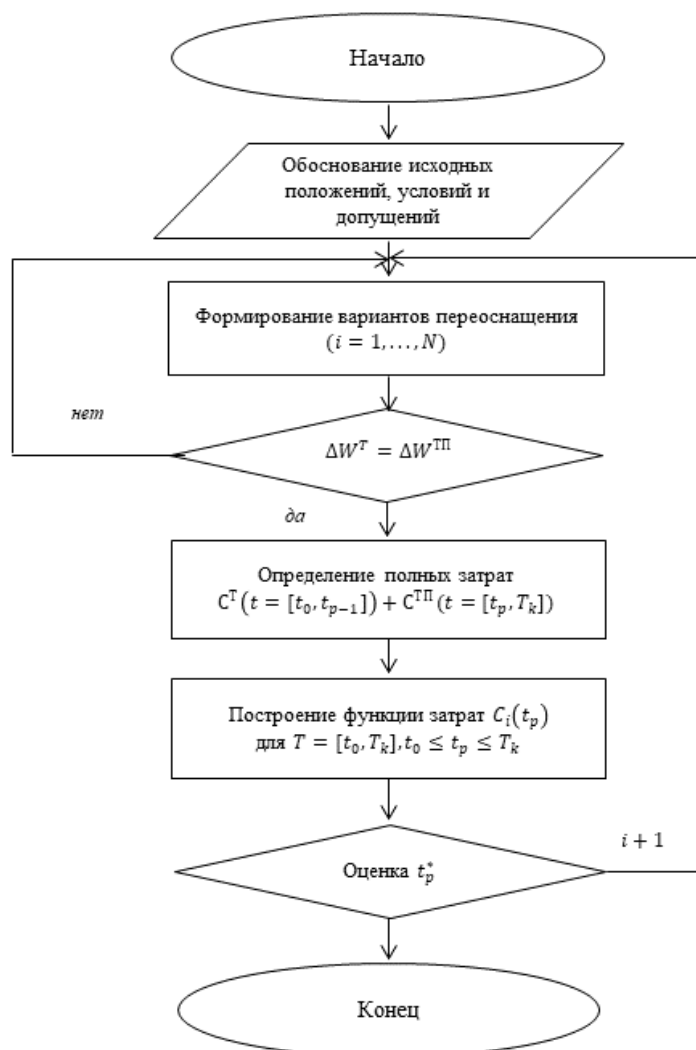


Рисунок 1 – Общий алгоритм экспериментальной модели

В последующих исследованиях в экспериментальной модели, представленной на рисунке 1, целесообразно выделить три контура переоснащения, в том числе:

1. Общий контур, представляющий собой многоэтапный процесс переоснащения группировки войск в течение программного периода времени $T = [t_0, T_k]$. При этом вполне возможен вариант, для которого функция затрат будет принимать минимальное значение лишь в следующем программном периоде. В этом случае переоснащение группировки войск планируется в следующем программном периоде ($T = T + 1$).

2. Внешний контур, в котором решается задача военно-экономического обоснования оптимального начала t_p^* переоснащения группировки войск (сил). Данный контур предназначен для контроля выполнения каждого этапа и варианта переоснащения оператором-исследователем (экспериментатором), в том числе:

- совместного применения существующих и перспективных видов вооружения;
- выполнения принципа тождества приращения эффективности группировки войск: $\Delta W^T = \Delta W^{\Pi}$;
- построения функции изменения усредненных за программный период полных предстоящих затрат в зависимости от момента переоснащения группировки;
- определения полных предстоящих затрат для i -го варианта переоснащения: $C^T(t = [t_0, t_{p-1}])$ и $C_i^{\Pi}(t = [t_p, T_k])$;
- определения оптимального срока начала переоснащения $t_p = t_p^* = t_{\text{онт}}$ группировки войск (сил) (достигается при минимальном значении функции затрат).

3. Внутренний контур, предназначенный для формирования вариантов переоснащения группировки войск (сил).

Приведем практический пример использования экспериментальной модели, реализующей разработанный метод.

Пример. Для проведения расчета выбрана однородная группа разведывательных машин (РМ) специального назначения, в том числе:

РМ-4 – существующий образец;

РМ-6 – современный образец;

РМ-9 – перспективный образец.

Перечисленные выше образцы РМ выбраны не случайно, так как одни в настоящее время являются лучшими в своем классе (РМ-6, РМ-9), а другие уже перешли в разряд устаревших образцов (РМ-4). Данными образцами РМ комплектуются типовые подразделения разведки группировки войск (сил).

Для обеспечения сопоставимости вариантов переоснащения учтены не только затраты на единичный образец, капитальный ремонт и капитальный ремонт с модернизацией, но и показатели эффективности отдельных подразделений, специфика и важность решаемых ими задач.

Исходные данные:

1. В качестве типового подразделения принят батальон разведки (26 типовых подразделений).
2. Затраты на серийное производство единичного образца, капитальный ремонт и капитальный ремонт с модернизацией (в стоимостном выражении) приведены в таблице 1.
3. Штатно-табельная потребность в РМ – 624 ед.
4. Убыль за программный период (без программных мероприятий) – 382 ед.
5. В качестве показателя эффективности РМ принят уровень решения задач, который характеризуется: скоростью ведения разведки (км/ч); дальностью разведки (км); площадью района разведки (км²).
6. Выделенные ассигнования на переоснащение составили сумму 100 100, 1 у.е.

Результаты расчетов по определению рационального варианта переоснащения приведены в таблицах 2-5. На основе анализа и сравнения различных вариантов переоснащения, приведенных в таблицах 2-4, осуществлен выбор наиболее предпочтительного варианта переоснащения. Результаты сравнительного анализа приведены в таблице 5.

Таблица 1 – Затраты на единичный образец, капитальный ремонт и капитальный ремонт с модернизацией

№ п/п	Образец	Стоимость, у.е.		
		Единичного образца	Капитального ремонта	Капитального ремонта с модернизацией до уровня РМ-9
1.	РМ-4	84,14	25,24	175,48
2.	РМ-6	84,18	59,80	182,50
3.	РМ-9	399,67	289,32	0

Таблица 2 – Вариант переоснащения – серийные поставки за программный период (вариант 1)

№ п/п	Образец	Затраты на единичный образец, у.е.	Количество образцов, шт.	Суммарные затраты на переоснащение, у.е.
1.	РМ-4	84,14	0	0
2.	РМ-6	84,18	277	23 317,86
3.	РМ-9	399,67	192	76 736,64
Итого		-	469	100 054,50

Данный вариант переоснащения подразделений на новые образцы РМ предполагает исключительно серийные поставки тех образцов РМ, которые не входят в разряд «устаревших».

Таблица 3 – Вариант переоснащения – капитальный ремонт с модернизацией (вариант 2)

№ п/п	Образец	Затраты на единичный образец, у.е.	Количество образцов, шт.	Суммарные затраты на переоснащение, у.е.
1.	PM-4	175,48	357	62 646,36
2.	PM-6	182,50	205	37 412,50
3.	PM-9	0	-	0
Итого		-	562	100 058,86

Данный вариант переоснащения подразделений на новые (модернизированные) образцы PM предполагает исключительно капитальный ремонт с модернизацией существующего парка PM, не израсходовавших свой модернизационный ресурс.

Таблица 4 – Смешанный (комбинированный) вариант переоснащения (вариант 3)

№ п/п	Образец	Затраты на единичный образец, у.е.	Количество образцов, шт.	Суммарные затраты на переоснащение, у.е.
1.	PM-4	84,14	180	15 145,20
2.	PM-6	84,18	273	22 981,14
3.	PM-9	399,67	155	61 948,85
Итого		-	608	100 075,19

Данный вариант переоснащения предполагает как серийные поставки PM, так и проведение мероприятий капитального ремонта с модернизацией существующего парка PM, не израсходовавших свой модернизационный ресурс.

Таблица 5 – Результаты сравнительного анализа различных вариантов переоснащения

№ п/п	Номер варианта переоснащения	Количество образцов, шт.	Суммарные затраты на переоснащение, у.е.
1.	Вариант 1	469	100 054,50
2.	Вариант 2	562	100 058,86
3.	Вариант 3	608	100 075,19

Рациональное использование выделенных ресурсов на переоснащение подразделений разведки достигается при смешанном варианте переоснащения. При этом за программный период представляется возможным переоснастить 24 типовые подразделения разведки.

Кроме того, результаты расчетов показали, что уровень решения задач разведки существенно возрастает: для второго варианта по сравнению с первым – на 48%, а третьего варианта по сравнению с первым вариантом – почти в 2 раза.

На основе полученных результатов сформулированы следующие выводы:

1. Серийная поставка новых образцов PM не гарантирует получение максимального роста эффективности подразделений и при этом является наиболее затратной частью жизненного цикла.

2. Капитальный ремонт существующего парка не позволяет переоснастить подразделения, хотя и является наименее затратной частью жизненного цикла PM, что в итоге создает небольшую отсрочку исправного состояния существующего парка.

3. Смешанный вариант переоснащения является наиболее приемлемым, так как позволяет получить наибольший прирост эффективности и более рациональное расходование ресурсов.

Таким образом, на основе военно-экономического обоснования определен такой вариант переоснащения, с учетом рациональных стоимостных и временных показателей программных мероприятий оснащения [1], для которого представляется возможным установить оптимальное начало переоснащения войск на перспективные виды вооружения.

Очевидно, что с использованием предложенного метода могут быть рассмотрены различные виды и другие варианты переоснащения. Весьма перспективными являются концепции построения высокоточного оружия, робототехники и искусственного интеллекта, построенные на оптимальном сочетании и использовании средств разведки, поражения, связи и управления. Переход от их применения как отдельных подсистем к технологическому сопряжению и применению как единого сложного технологического комплекса может позволить получить требуемый синергетический эффект (повышение эффективности группировки войск (сил) или снижения затрат на переоснащение). Например, синергетический эффект от интеграции информации, поступающей от всех видов разведки (оптической, оптико-электронной, радиолокационной, тепловизионной, специальной и др.), позволяет обеспечить обнаружение практически всех видов объектов, замаскированных с применением всех известных средств маскировки [9]. Поиск синергетических эффектов от совместного применения существующих и перспективных видов вооружения – одно из важнейших направлений военно-экономического обоснования современных систем вооружения.

Заключение

1. Разработан метод военно-экономического обоснования оптимального начала переоснащения войск на перспективные виды вооружения с учетом этапов их жизненного цикла. Под оптимальным началом переоснащения понимается такой момент времени, с которого целесообразно проводить переоснащение войск в рассматриваемом программном периоде. Различные варианты переоснащения формируются на основе рациональных значений стоимостных и временных показателей мероприятий по техническому оснащению ВС РФ с учетом этапов жизненного цикла существующих и перспективных видов вооружения.

2. В основу метода положены следующие принципы переоснащения:

- принцип соответствия оптимального начала переоснащения научно обоснованному варианту переоснащения, в котором оптимальным образом сочетаются этапы жизненного цикла существующих и перспективных видов вооружения с учетом рациональных значений их стоимостных и временных показателей;

- принцип сопоставления полных предстоящих затрат на выполнение боевых задач группировкой войск (сил) с использованием только существующих (традиционных) видов вооружения и при их совместном использовании с перспективными видами вооружения.

3. На основе использования данных принципов сформулирована постановка задачи обоснования оптимального начала переоснащения и методический подход к ее решению. Показано, что военно-экономическое обоснование оптимального начала переоснащения группировки войск (сил) на основе сравнительной оценки вариантов совместного использования существующих и перспективных видов вооружения является многоэтапной, многовариантной и многокритериальной задачей.

4. В интересах практической реализации предложенного метода разработана экспериментальная модель переоснащения войск, основанная на человеко-машинном взаимодействии оператора – исследователя (экспериментатора) и программно-алгоритмического комплекса (технологическая система). Приведен практический пример использования экспериментальной модели для однородной группы машин специальной разведки. На основе результатов, полученных в ходе расчетов, сформулированы следующие выводы:

- серийная поставка новых образцов вооружения не гарантирует получение максимального роста эффективности подразделений и при этом является наиболее затратной частью жизненного цикла;

- капитальный ремонт существующего парка не позволяет переоснастить подразделения, хотя и является наименее затратной частью жизненного цикла ВВСТ, что в итоге создает небольшую отсрочку исправного состояния существующего парка;

- смешанный тип переоснащения наиболее приемлемый и показывающий наибольший прирост эффективности и более рационального расходования ресурсов.

5. Перспективным направлением дальнейшей алгоритмизации предложенного метода с учетом многоэтапного, многовариантного и многокритериального характера задач, решаемых с его использованием, являются учет:

- множества различных вариантов переоснащения:

- множества боевых задач группировки войск (сил);

- всех составляющих группировки войск (сил) (ударной, обеспечивающей и управляющей системы), совместно используемых в составе группировки войск (сил);

- нескольких группировок войск (сил) и т.д.

В дальнейшем для повышения оперативности обоснования оптимального начала переоснащения на основе изложенного выше метода представляется целесообразным использовать современные инструментальные возможности и технологии искусственного интеллекта.

Список источников

1. Буренок В.М., Косенко А.А., Лавринов Г.А. Техническое оснащение Вооруженных Сил Российской Федерации: организационные, экономические и методологические аспекты. М.: Граница, 2008. 728 с.

2. Мунтяну А.А. Методика оценки технической оснащенности группировки комплексов стратегического ракетного вооружения // Вооружение и экономика. 2021. №2(56). С.32-47.

3. Бобрик И.П., Ветрюк Р.Ю., Шипунов А.С. Переоснащение парка отдельного типа вооружения, военной и специальной техники в условиях ограниченного финансирования // Вооружение и экономика. 2012. №3(19). С.34-41.

4. Бойков А.В., Самылина Ю.Н., Метод технико-экономического обоснования варианта переоснащения частей и подразделений Вооруженных Сил РФ современными образцами вооружения и военной техники // Экономика и предпринимательство. 2022. №5(142). С.935-939.

5. Буравлев А.И., Нестеров А.А. Методика военно-экономического анализа целесообразности закупки образцов вооружения и военной техники // Вооружение и экономика. 2016. №2(35). С. 83-89.

6. Гладышевский В.Л., Леонов А.В., Пронин А.Ю., Лендоев К.В. Интерактивная модель оптимизации расходов на повышение боевых возможностей группировки войск // Вооружение и экономика. 2024. №1(67). С. 57-68.

7. Толковый словарь в области военного управления, связи и информационных технологий: военно-теоретический труд / Под общ. ред. В.М. Буренка. М.: РАРАН, 2017. 232 с.

8. Буренок В.М., Леонов А.В., Пронин А.Ю. Военно-экономические и инновационные аспекты интеграции нетрадиционных видов оружия в состав системы вооружения. М.: Граница, 2014. 240 с.

9. Буренок В.М. Технологические и технические основы развития вооружения и военной техники. М.: Граница, 2010. 216 с.

Информация об авторах

А.В. Леонов – доктор экономических наук, профессор.

А.Ю. Пронин – кандидат технических наук, доцент, SPIN код автора 6833-7914.

К.В. Лендоев – SPIN код автора 1414-2304.

Научная статья
УДК 519.8

Почему Россия достигнет целей специальной военной операции? Количественный анализ

Владислав Вячеславович Шумов

Аннотация. В статье дано описание комплекса моделей безопасности и обороноспособности. Результаты моделирования безопасности являются основой для оценки и прогноза обороноспособности и военной мощи государств и их коалиций. Целью статьи является предоставление инструментария исследователям в области экономических, политических, социальных и военных наук, аналитикам и практикам для построения сценариев развития обстановки с учетом возможностей государств и их вооруженных сил, подготовки количественных оснований для анализа.

Ключевые слова: национальная безопасность; специальная военная операция; функция безопасности; статистика; комплексирование моделей

Для цитирования: Шумов В.В. Почему Россия достигнет целей специальной военной операции? Количественный анализ // Вооружение и экономика. 2024. №3(69). С. 63-74.

Благодарности: Автор выражает признательность рецензентам за содержательные замечания, И.Кочневу, Д.Степину и Л.Элькину за помощь в сборе и анализе статистических данных.

Original article

Why will Russia Achieve the Goals of the Special Military Operation? Quantitative Analysis

Vladislav V. Shumov

Abstract. The article describes a set of security and defense capability models. The results of security modeling are the assessment and prediction basis of the defense capability and military power of states and their coalitions. The purpose of the article is to provide tools for researchers in the field of economic, political, social and military sciences, analysts and practitioners for scenarios of the situation development, taking into account the capabilities of states and their armed forces, and quantitative grounds for analysis preparation.

Keywords: national security; special military operation; security function; statistics; integration of models

For citation: Shumov V.V. Why will Russia Achieve the Goals of the Special Military Operation? Quantitative Analysis. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2024;69(3): 63-74. (In Russ.).

Acknowledgments: The author wishes to express his thanks to the reviewers for meaningful remarks, and I.Kochnev, D.Stepin and L.Elkin for their help in statistical data collection and analysis.

Введение

24 февраля 2022 г. Россия начала специальную военную операцию (СВО) в Донбассе с целью защиты граждан от геноцида со стороны киевского режима, демилитаризации и денацификации Украины. СВО проводится в форме военных, боевых, специальных и иных действий и для нее вполне справедливо утверждение К.Клаузевица: война – это акт насилия, имеющий целью заставить противника выполнить нашу волю. Достижение цели войны зависит от двух основных факторов: соотношения средств, имеющихся у сторон, и их воли к победе [1].

Для прогноза исхода СВО, анализа политической, военной, социально-экономической обстановки в России и мире используются как качественные, так и количественные методы, а также их сочетание (сценарное прогнозирование). Качественные прогнозы позволяют учесть объективные и субъективные факторы, могут иметь нормативный характер (как, в какой срок и какими способами достичь целей СВО), но обычно характеризуются невысокой точностью.

Пример качественного долгосрочного прогноза дан в работах [2; 3]. По С.Караганову, пятисотлетнее военно-политическое доминирование Запада завершается, происходит небывало быстрый сдвиг от Запада (США и Западной Европы) к Китаю и Азии. Решительные действия России по отстаиванию своих национальных интересов стали толчком для революционных геополитических изменений.

Примеры среднесрочных качественных и сценарных прогнозов с элементами нормативного характера (какие меры спланировать?) можно найти в работах [4-6].

Количественные прогнозы опираются на теорию военных и боевых потенциалов [7], политическую экономию [8], теорию безопасности [9], используют математические и статистические методы, и при правильном учете объективных факторов могут дать более точный результат ожидаемого исхода СВО. Чтобы понять возможности и ограничения количественного прогнозирования, уместно провести аналогию с шахматами¹. Аналитик, на основе анализа большого количества сыгранных партий, способен оценить боевой потенциал шахматных фигур (пешка – одно очко, конь или слон – три очка, ладья – пять, ферзь – девять, король бесценен). Но какие конкретно делать ходы в конкретных позициях – это искусство гроссмейстера (в нашем случае – политика, полководца). Военная операция характеризуется «туманом войны» (неопределенностями), бесконечно большим разнообразием начальных позиций, используемых сил и средств. В силу чего и высока значимость методов количественного прогнозирования.

Проводимая Россией СВО затрагивает все сферы общества и уровни деятельности. О сложности проблем, стоящих перед практиками и аналитиками в области обороны и безопасности, свидетельствует таблица 1. Безопасность подразделяется на безопасность жизнедеятельности и национальную безопасность. В последней обычно выделяют военную (обороноспособность), экономическую, продовольственную, транспортную, общественную, государственную, экологическую и иные виды безопасности.

Структурно работа организована так. В первом разделе представлена простейшая модель национальной безопасности, на основе которой во втором разделе выполнена оценка безопасности России, в третьем разделе показано место России в мире на фоне идущей геополитической инверсии (смены мирового лидера), в четвертом представлены результаты оценки безопасности Европейского Союза, в пятом – оценка безопасности Украины и ее регионов. Последний раздел статьи посвящен вопросам комплексирования моделей безопасности и обороноспособности.

Таблица 1 – Уровни деятельности и безопасность

Уровень	Типовой объект	Доминируемая форма активности	Безопасность
Культурный	Этнос, народ	Воспроизводство и развитие деятельности	Национальная безопасность
Политический	Государство, институт	Институционализация деятельности	
Экономический	Организация, предприятие	Коллективная практическая деятельность	
Социальный	Общество	Коммуникативная деятельность	
	Группа, коллектив: семья, род, племя	Коллективная практическая деятельность	
Психический	Личность	Индивидуальная практическая деятельность	Безопасность жизнедеятельности
	Индивид	Внутренняя деятельность	
Биологический	Организм	Жизнедеятельность	
Физический	Тело	Движение	

Первые три столбца взяты из [10], четвертый добавлен автором.

1 Постулаты и простейшая модель безопасности

Перечислим постулаты, на основе которых построена простейшая модель безопасности [9].

Постулат №1 (постулат Аристотеля или закон эмерджентности: свойства системы не сводятся к «сумме» свойств ее элементов). Национальная безопасность не сводится к набору частных видов безопасности (военной, экономической, государственной, общественной, транспортной, продовольственной и др.) и не выводится из них.

Постулат №2 (постулат дуализма ценностей безопасности). Национальная безопасность является ценностью, побудительным мотивом к действиям, рассуждениям и

¹ Пример взят из работы [7].

анализу. Развитие и сохранение социальных систем есть процесс и результат разрешения дихотомии ценностей свободы и ответственности, размежевания и сплоченности, конкуренции и кооперации, индивидуализации и социализации.

Постулат №3 (постулат Е.Балацкого и С.Нефедова, слагаемые развития и суверенитета). Три ключевых фактора влияют на человеческую историю и определяют состояние общества и государства: география, демография и социальные технологии. Названным факторам можно поставить в соответствие показатели: численность населения страны, площадь ее территории и уровень социальных технологий. Первые два показателя (численность населения и площадь) определяют базовую суверенность государства, третий – способности государства и общества по формированию и реализации проектов развития.

Постулат №4 (постулат Н.Макиавелли и В.Ленина, проверка социальных институтов войной). Крепость и силу государства (союза государств) и общества можно оценить по результатам военных действий.

Постулат №5 (постулат Г.Жукова и Н.Тельневой, познаваемость сложных иерархических социальных систем как следствие принципа самоподобия). Принцип самоподобия означает возможность суждения о целом по его части. По отдельным поступкам можно судить о субъекте, по субъектам – об обществе, по обществу – об общем состоянии мира [11]. Данный постулат позволяет формально одинаковым способом описать возможности по самосохранению социальной системы любого уровня (от малой социальной группы до союза государств). Г.Жуков выделял одни и те же факторы, влияющие на успех любого боя, сражения, операции². Иными словами, факторы успеха одни и те же на тактическом, оперативном и стратегическом уровнях.

Постулат №6 (постулат К.Ипполитова, примат возможностей над угрозами и намерениями).

Постулат №7 (правило выбора индивидуального актора). Поскольку безопасность является базовой потребностью индивида, то множество людей постоянно оценивают уровень безопасности разных стран (регионов), на основе этой оценки принимают решение о миграции. И эти результаты оценок безопасности (и ее слагаемых) могут использоваться для оценки параметров модели.

Уровню безопасности некоторой страны можно поставить в соответствие функцию безопасности [9]:

$$u = wq, \quad (1)$$

$$w = Aw_b, A = (1 + I)^X, w_b = \left(\frac{z}{z_{max}}\right)^\omega \left(\frac{s}{s_{max}}\right)^{1-\omega}, \quad (2)$$

$$q = \left(\frac{\xi}{z}\right)^{\mu/\sigma}, \quad (3)$$

значения и показатели которой указаны в таблице 2.

Большинство показателей, указанных в таблице 2, берутся непосредственно из данных государственных статистик или легко вычисляются по ним. В комментариях нуждаются три последние показателя.

Параметр μ отражает межэтнические различия и является важнейшим с точки зрения сохранения государства и его устойчивого развития (государства разрушаются по этническому признаку, за редкими исключениями, обычно вызванными внешним вмешательством). Методы и примеры оценки параметра разнородности представлены в работе [9]:

1-й метод – использование данных о долях потерь национальностей в составе Действующей Армии СССР в годы Великой Отечественной войны (чем выше эта доля, тем меньше разнородность данной национальности относительно русского этноса), см. таблицу 3, параметр разнородности;

2-й метод – использование данных переписей населения о межэтнических браках (чем ниже доля смешанных браков среди представителей двух любых национальностей

² Речь Г.К. Жукова на военно-научной конференции, декабрь 1945 г. // Военная мысль. 1985. Специальный выпуск (февраль). С. 3, 17-33.

относительно их численности, тем больше разнородность между этими национальностями), см. таблицу 3, межэтнические расстояния [12];

3-й метод (расчетный) – вычисление параметра с учетом языкового расстояния, географической удаленности стран, длительности их суверенного исторического существования и др.

Отметим, что наиболее близким к русскому этносу являются белорусы и украинцы (без западных областей, по данным переписи по состоянию на 17 января 1939 г.).

Параметр σ характеризует способность этноса создавать устойчивые государства. Это важнейшая характеристика этносов (народов). Некоторые этносы (курды, каталонцы, шотландцы и др.) веками не могут обрести свое государство: у них очень низкое значение параметра σ . Другие этносы (древние римляне, персы, англосаксы, русские и т.д.) создают устойчивые многонациональные государства. У таких этносов высокое значение параметра. Большинство же народов характеризуются средним значением параметра притяжения и живут в относительно мононациональных государствах. Параметр оценивается с учетом данных по межстрановым и межрегиональным миграциям населения (оценка безопасности и условий жизни индивидами, голосование «ногами»).

Параметр χ реализации технологий, во-первых, характеризует способности государства и его институтов по реализации своих возможностей, во-вторых, отражает степень возможного напряжения при достижении заявленных целей (таблица 4).

Таблица 2 – Характеристики функции безопасности

Показатель	Характеристика, описание
w	Функция суверенного развития
q	Функция сохранения
A	Функция социальных технологий
w_b	Функция базовой суверенности
I	Индекс социальных технологий (определяется как среднее относительных значений урбанизации, ВВП на душу населения и естественного прироста населения страны)
z и z_{max}	Численность населения страны и численность населения Китая (Индии)
s и s_{max}	Площадь территории страны и площадь территории России
$\omega \approx 0,5$	Параметр эластичности по населению (получен по данным статистики)
ξ	Численность государствообразующего этноса
$\mu \geq 1$	Параметр этнической разнородности
$\sigma > 0$	Параметр притяжения государствообразующего этноса
$\chi > 0$	Параметр реализации технологий в действия (степень технологического фактора)

Таблица 3 – Значения межэтнических расстояний и параметра разнородности (относительно русского этноса)

№	Национальность	Расстояние D_{ij}	Параметр μ_{ij}
1	Украинцы	0,66	1,2
2	Мордва	0,68	1,3
3	Удмурты	0,71	1,5
4	Армяне	0,74	1,5
5	Чуваши	0,75	1,3
6	Татары	0,84	1,3
7	Казахи	0,97	1,4
8	Азербайджанцы	1,03	2,3
9	Башкиры	1,55	1,5

Таблица 4 – Возможные значения степени технологического фактора

Назначение	Возможные значения степени технологического фактора		
Формирование новых институтов (верхняя оценка степени)	0,5-1,5 Оценки выполняются для отдельных сфер деятельности		
Привлечение институтов для решения задач национальной безопасности	0,1-0,2 Задачи экономического характера	0,2-0,5 Задачи военно-политического характера	Больше 0,5 Защита жизненно важных интересов

Почему крупные и сильные в военном отношении государства проигрывают более слабым (войны США во Вьетнаме, Афганистане и т.д.)? Потому что народом страны-агрессора они не воспринимаются как жизненно важные. И для таких случаев значение параметра χ резко понижается, а у страны, ведущей войну в защиту своего суверенитета – растет. Используя данные о потерях Франции, Англии и их колоний в первой мировой войне, Германии и ее союзников во второй мировой войне, США и их союзников в Ираке в период с 2003 по 2010 г., получена нижняя оценка параметра: $\chi \approx 0,13 - 0,5$. Минимальное значение параметра (0,13) характерно для ситуаций, когда преследуются преимущественно экономические интересы. Если речь идет о военной безопасности, сохранении самобытности и суверенности, то следует использовать значение параметра, большее или равное 0,5 – 1,0 [9].

Оценка устойчивости регионов в составе государства выполняется с использованием функции внутренней безопасности [9]:

$$u_b = Kq, \tag{4}$$

где: K – уровень социально-экономического развития страны.

Для над- и межгосударственных образований функция суверенитета Союза есть сумма значений функций суверенитета (возможно, взятая с определенным весовым коэффициентом), а функция сохранения подчиняется распределению Парето (в силу свойства самоподобия). В модели безопасности появляется дополнительный параметр β – степень участия стран в Союзе. При $\beta \rightarrow 1$ мы имеем унитарное устройство – все решения принимаются Центром, при $\beta \approx 0,5$ – федерацию и т.д.

Далее рассмотрим результаты расчетов с использованием модели безопасности и выводы из них.

2 Оценка безопасности России

На рисунке 1 показаны результаты расчета функции безопасности (и ее компонентов) России за период с 1500 по 2019 г. [9].

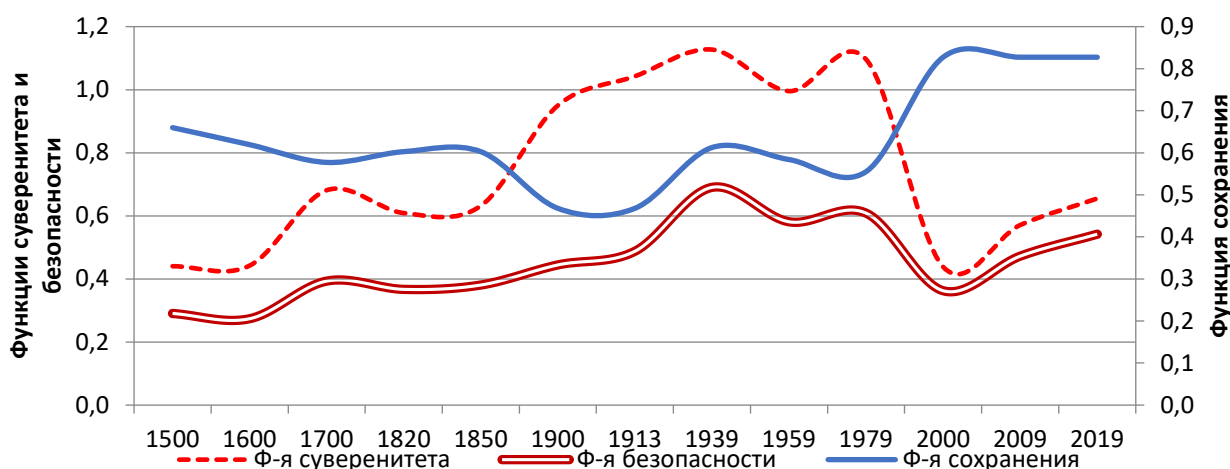


Рисунок 1 – Компоненты функции безопасности России

Из рисунка видно три периода, когда происходило снижение функции сохранения страны. Первый период (до конца XVII в.) явился побудительным мотивом реформ Петра Великого и завершился учреждением Российской империи (1721-1917 гг.). Результатом двух модернизаций, начавшихся в 1917 и в 1991 гг., явилось увеличение доли русских в общей численности населения.

Три модернизации (революции сверху или народные) содержательно могут быть объяснены в рамках нового институционализма. По Е.Балацкому любая институциональная система создается либо под уже существующую, либо под проектируемую социальную систему. Сами институты вторичны, представляют собой обрядово-правовую форму, в которое облекается некое социальное содержание. Степень соответствия или несоответствия содержания (социальной структуры, материальной базы и мироощущения) общества его форме (институтам) определяет уровень эффективности самих институтов. Эрозия институтов в форме падения их качества (эффективности) предопределяется феноменом экономического роста, благодаря которому социальная система постоянно разрастается и усложняется, требуя иного институционального обеспечения [5].

Гипотеза Е.Балацкого об эрозии институтов нашла наглядное проявление на примере неудачных экономических реформ в период правления Н.Хрущева, когда социальные институты упрощались и, в результате, вошли в противоречие с состоянием общества, стали тормозом общественного развития.

Отметим, что, начиная с начала 2000-х гг., идет непрерывный рост геополитических возможностей России.

3 Геополитическая инверсия и место России в мире

Под геополитической инверсией понимается смена мирового лидера. На рисунке 2 показаны значения функции безопасности пяти крупнейших стран мира.

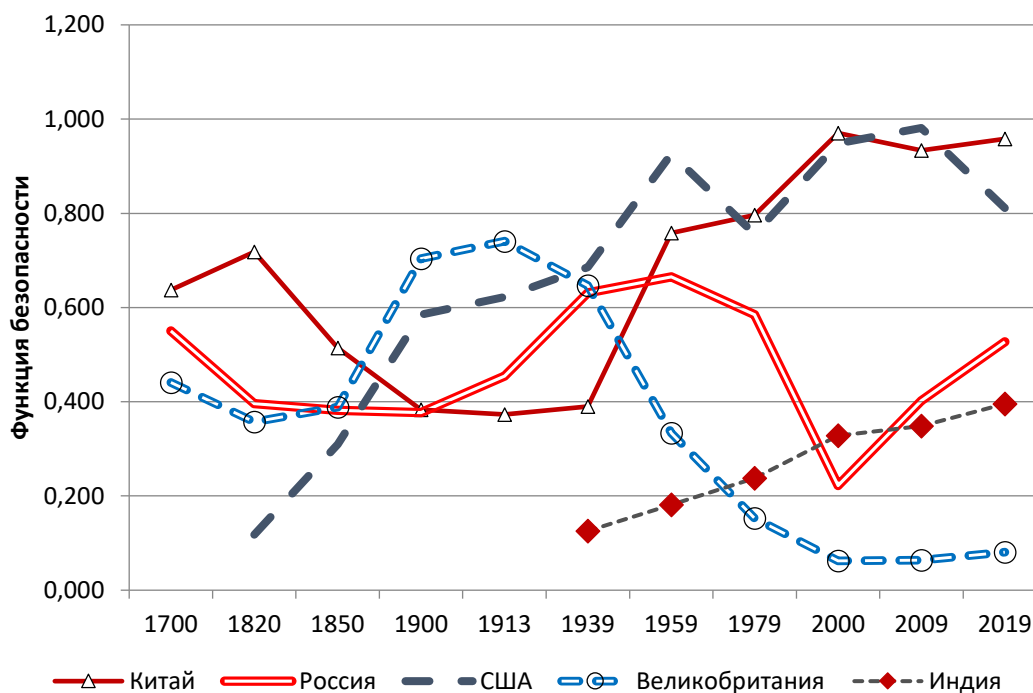


Рисунок 2 – Функции безопасности крупнейших стран мира

Уже в начале XXI века Китай по своим возможностям догнал США. Однако на США все еще работают созданные ими международные институты (МВФ, Всемирный Банк, НАТО, военные базы, доллар как мировая валюта и т.д.). Вместе с тем, в конкурентной борьбе с Россией, Ираном и КНР англосаксонский мир вводит санкции, ограничения, разрушая тем самым и собственные глобальные институты.

В условиях идущей геополитической революции, сопровождаемой разрывом традиционных цепочек поставок товаров и услуг, агрессивной политикой экономических санкций и военных угроз встает вопрос оценки устойчивости (антихрупкости) социальных систем, их приспособленности к автономному существованию. В основе глобального кризиса «лежит ментальная ошибка, когда действия правительственного регулятора и экономических агентов базируются на приоритете виртуального сектора экономики по сравнению с реальным» [5, с.44].

Таким образом, результаты расчетов с использованием модели безопасности количественно отражают идущие в мире процессы, связанные со сменой мирового лидера, показывают возрастание геополитической мощи России, а возможные расширения модели (включение в нее индекса антихрупкости, моделей экономического развития, обороноспособности и т.д.) позволяют выработать обоснованные предложения по укреплению геополитической мощи России и достижению целей специальной военной операции.

4 Оценка безопасности Европейского Союза

На обстановку в зоне проведения СВО существенное влияние оказывают и внешние силы – блок НАТО (поставки оружия, разведка, обучение военнослужащих) и Евросоюз (оказывает экономическую и иную помощь Украине, ввел санкции против России). В настоящее время Евросоюз функционирует в форме конфедерации. Неоднократные попытки превращения ЕС в федерацию оказались безрезультатными (провал с ратификацией Конституции ЕС, когда народы Франции и Нидерландов на референдуме высказались против ее принятия). Для объяснения невозможности трансформации ЕС в ее полном составе в федерацию в 2015 году были выполнены прогнозные расчеты по оценке безопасности ЕС как федерации [9], см. рисунок 3.

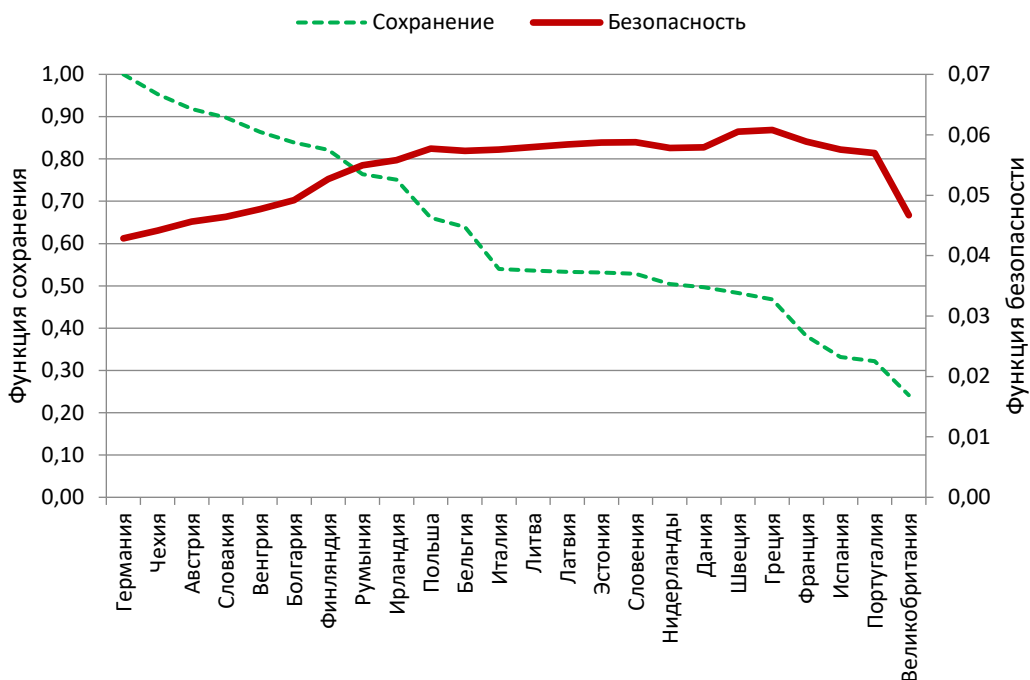


Рисунок 3 – Компоненты функции безопасности Европейского Союза (как возможной федерации)

Из рисунка видно, что устойчивая федерация (значение функции сохранения не ниже 0,6) может состоять не более, чем из девяти-двенадцати стран. Теория безопасности показывает невозможность построения на базе современного Евросоюза устойчиво развивающейся федерации. Однако геополитическая жадность западных элит, их пренебрежение историческим опытом, показали несuverенность ЕС и, в силу этого, его подчиненность интересам США.

Выход Великобритании из Евросоюза в 2016 году укрепил ее геополитические возможности и мало отразился на возможностях самого Евросоюза. В силу высоких затрат на согласование интересов всех стран, входящих в ЕС, темпы развития ЕС замедлились относительно среднемировых, а сам Европейский Союз не обладает геополитической субъектностью.

5 Оценка безопасности регионов Украины

Украина как независимое государство учреждено двумя народами – украинцами и русскими. По оценке И.Снежковой «с образованием украинского государства начался процесс интенсивной десоветизации и дерусификации, который опирался на новые национальные приоритеты» [13, с.197].

С использованием функции внутренней безопасности (4) в 2014 году выполнена оценка безопасности регионов Украины по данным официальной статистики по состоянию на конец 2013 года [14]. На рисунке 4 показан график функций сохранения регионов в составе Украины по состоянию на конец 2013 года.

Из результатов расчетов по состоянию на 2013 год видно, что шансы сохранения в составе Украины Донецкой и Луганской областей были минимальны³. Наиболее устойчивыми регионами Украины являются: Тернопольская, Ивано-Франковская, Волынская, Ровенская, Винницкая, Черниговская, Черкасская, Львовская, Хмельницкая, Киевская, Полтавская, Сумская, Кировоградская и Житомирская области со значениями функции сохранения выше 0,5 [15].

Популярность поисковых запросов с территории Украины в поисковой системе Google со словом «Россия» в период с 2014 по 2023 гг. высоко коррелирует с обратными значениями функции сохранения регионов в составе Украины: чем ниже значение функции сохранения, тем более популярен запрос. Меньше всего запросов поступает с Волынской, Ивано-Франковской и Тернопольской областей. Россией интересуется значительная доля населения Харьковской, Одесской и Николаевской областей. Несмотря на многолетнюю насильственную украинизацию, жители большинства областей Украины при поиске в Google используют русский язык. Иными словами, данные, показанные на рисунке 4, не меняются со временем, отражая имеющиеся фундаментальные противоречия в украинском обществе.

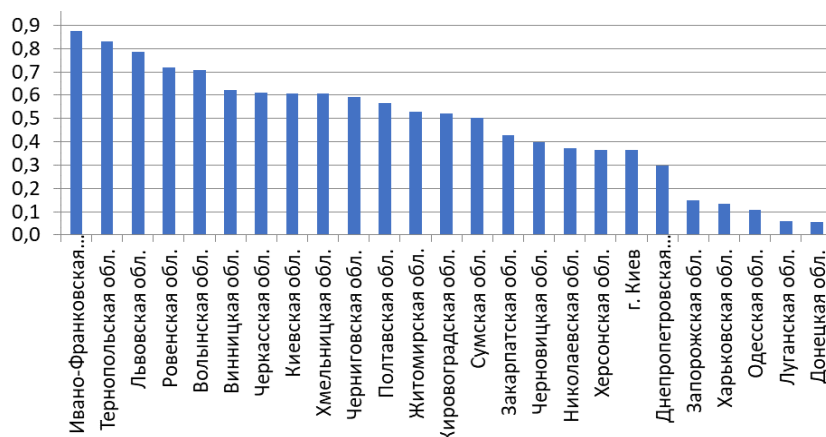


Рисунок 4 – Значения функции сохранения регионов в составе Украины (2013 г.)

³ Донецкая и Луганская народные республики, Запорожская и Херсонская области входят в состав России.

В 2023 году оценена безопасность регионов Украины за 2015-2022 гг. (таблица 5) и других стран (таблица 6) [9].

Большие значения параметра сохранения ($\delta > 1$) отражают высокие возможности государствообразующего этноса по формированию устойчивых социально-политических институтов.

Из результатов расчетов следует, что в оценке параметра сохранения имеются значительные погрешности, которые могут быть объяснены следующими причинами: во-первых, ошибки при расчете параметра разнородности; во-вторых, разнообразие мотивов мигрантов при выборе ими стран и регионов миграции, неучет возрастных и иных характеристик мигрантов; в-третьих, неучет в расчетах государственной политики миграции (заселение малонаселенных районов, строительство новых предприятий и т.д.).

Поэтому важно вести расчеты за достаточно длинные интервалы времени, чтобы отслеживать динамику. С 2013 года наблюдается рост значения параметра сохранения основного этноса России, что свидетельствует о высоких интеграционных возможностях русского народа. В период с 2018 по 2021 гг. значение параметра сохранения основного этноса Казахстана снижается, что можно объяснить ростом межэтнических разнородностей в казахстанском обществе. Начиная с 2017-2019 гг. на Украине отмечается снижение значения параметра сохранения, что объясняется проводимой в стране насильственной украинизацией и ростом, в связи с этим, межэтнических противоречий.

Таблица 5 – Значения параметра притяжения основного этноса Украины

Год	2015	2017	2019	2020	2021	2022
Параметр притяжения	0,53	0,63	0,77	0,65	0,66	0,53

Таблица 6 – Значения параметра притяжения основных этносов России, США, Германии, Казахстана и Украины

Россия	США	Германия	Казахстан	Украина
1,0-3,0	1,0-2,1	1,0-1,5	0,7-1,3	0,5-0,8

6 Комплексование моделей безопасности и обороноспособности

Геополитическая революция и связанная с ней СВО на Украине ставят перед исследователями задачу комплексного и адекватного описания происходящих процессов, разработки тематических моделей управления действиями, прогнозирования их хода и исхода (рисунок 5).

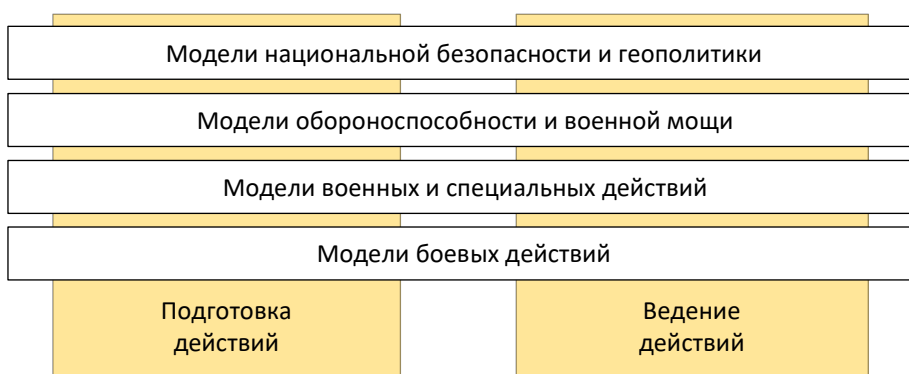


Рисунок 5 – Комплекс моделей безопасности, обороноспособности, военных и специальных действий⁴

⁴ Составлено автором.

Модели подготовки действий основаны на использовании методов боевых и военных потенциалов (включая функции победы, функции безопасности), теории вероятностей и математической статистики, теории принятия решений (теоретико-игровые и многокритериальные модели). Соответственно, модели ведения действий строятся с использованием военных и стратегических игр, методов оптимизации, имитационных моделей (включая дифференциальные уравнения), многошаговых игр и искусственного интеллекта.

В Электронном словаре дается следующее определение⁵: «Военная мощь (оборонная мощь, оборонное могущество), сила государства (коалиции государств), его (её) способность воздействовать на др. субъектов политики, систему международных отношений косвенным (через демонстрацию возможностей) или прямым использованием средств вооруженного насилия и успешно вести вооруженную борьбу. Количественные и качественные характеристики военной мощи обусловлены геополитическим положением страны, размерами ее территории и численностью населения, наличными природными, материальными и людскими ресурсами, уровнем политического, социально-экономического, научно-технического, духовного и др. развития общества, а также характером и содержанием политики по мобилизации этих возможностей на военные нужды. Концентрированным материализованным воплощением военной мощи выступает военная организация государства, боевая мощь вооруженных сил».

Из данного определения следует, что модели военной мощи (обороноспособности) должны быть увязаны с моделями безопасности.

В настоящее время оцениваются частные показатели военной мощи, а их агрегирование выполняется экспертами с применением метода анализа иерархий [7].

Не менее важным элементом военной мощи является учет духовных компонентов общества и их отражение в математических моделях.

С использованием модели Осипова-Ланчестера (модель с вводом сторонами резервов для компенсации потерь) и данных из учебного пособия⁶ на примере американо-вьетнамской войны 1964-1973 гг. показано, что несмотря на свое технологическое превосходство армия США войну проиграла, так как американское общество оказалось неспособно нести высокие социальные издержки в войне, цели которой народу не близки (потери США в войне составили 0,03% от численности населения, тогда как Вьетнама – 2,5%).

Постмайданные события на Украине в российском обществе воспринимаются как угроза экзистенциального характера, в связи с чем наше общество готово к напряжению сил и издержкам ради достижения заявленных целей СВО. Поэтому СВО характеризуется высокой напряженностью и интенсивностью военных, боевых и специальных действий.

На тактическом и оперативном уровнях применяются модели боевых действий. Их обзор можно найти в работе [16]. Комплексирование моделей подготовки и ведения военных, боевых и специальных действий выполняется по элементам замысла⁷ командира (командующего):

- 1) направления главного удара и сосредоточения основных усилий;
- 2) боевой порядок;
- 3) формы и способы выполнения боевой задачи и меры по обману противника.

Для обоснования первых двух элементов используются теоретико-игровые модели⁸, для третьего элемента – имитационные и рефлексивные модели, уравнения Осипова-Ланчестера.

Интеграция математических моделей безопасности, обороноспособности, военных, боевых и специальных действий выполняется как по горизонтали (модели подготовки действий, во-первых, дают количественные основания для выработки обоснованных решений, во-вторых, имеют нормативный характер (как распределить свои силы и средства

⁵ URL: <https://encyclopedia.mil.ru/encyclopedia/dictionary/details.htm?id=4337@morfDictionary>

⁶ Кузнецов Д. В. Использование военной силы во внешней политике США: учеб. пособие. Благовещенск: БГПУ, 2010. 430 с.

⁷ Замысел операции (боя) – главная идея, определяющая способ выполнения поставленной боевой задачи, основная содержательная часть и суть решения на операцию (или решения на бой).

⁸ Шумов В.В., Корепанов В.О. Исследование теоретико-игровых моделей боевых действий // Математическая теория игр и ее приложения. 2021. Т.13. №.2. С. 80-117.

по направлениям и задачам, какими способами и в каком порядке разгромить противника?), в-третьих, результаты моделирования являются исходными данными для моделей ведения действий), так и по вертикали (сверху вниз, от геополитических и стратегических уровней до тактических – перевод возможностей и потенциалов в действия и результаты).

Выводы

Сформулируем содержательные выводы, следующие из количественного анализа безопасности, обороноспособности, военных и боевых действий.

Первое. Созданные США институты глобального доминирования вошли в противоречие с целями устойчивого развития мира и превратились в свою противоположность. Доля стран Запада в мировом ВВП неуклонно снижается, а их долг растет. Из рисунка 2 видно, что значения функции безопасности (характеризующие мощь стран и их внутреннюю устойчивость) США, достигшие пика в 2000-2010 гг., начали снижаться, в то время как значения этих функций КНР, Индии и России (после снижения, вызванного распадом СССР) растут. В конкурентной борьбе побеждают Китай, Россия и другие страны. С целью недопущения геополитической инверсии (смены мирового лидера) США и НАТО готовы развязать мировую войну. Единственное, что их останавливает – это наличие ядерного оружия у России, Китая, Индии и других стран.

Второе. Европейский Союз в ходе расширения вышел за пределы своих возможностей, столкнувшись с невозможностью проводить единую согласованную внешнюю и внутреннюю политику в силу разнородных интересов стран-участниц, оказался в политической и экономической зависимости от США. Все попытки построения федеративного образования и обретения суверенитета оказались безуспешными.

Третье. Бывшая УССР и современная Украина учреждены двумя народами – русскими и украинцами. После вооруженного захвата власти на Украине в 2014 году представителями западноукраинского этноса при активной поддержке США и Запада была организована насильственная украинизация, превратившаяся в гражданскую войну, запрет политических партий и террор против активной части общества. Анализ безопасности Украины показывает невозможность продолжения текущей политики и террора без внешней военной, финансовой и иной помощи.

Четвертое. Народ и элита нашей страны воспринимают события на Украине как войну США и Запада против России с целью лишения русского этноса политической субъектности и последующего расчленения страны. Поскольку угроза для России носит экзистенциальный характер, то потенциал наших ответных действий превышает возможности западных стран, стремящихся к достижению не важных для их народов целей. В отечественной традиции при анализе причин победы в войнах принято учитывать потенциалы только тех стран, для которых война ставит вопрос их суверенного существования. Так, при анализе победы советского народа в Великой Отечественной войне сравнивался потенциал СССР и нацистской Германии несмотря на то, что на ее стороне воевали многие государства Европы⁹.

Пятое. Наряду с понятием «военная мощь» представляется обоснованным использовать понятие «потенциал безопасности», который имеет количественное выражение в форме функции безопасности для отдельных стран, их союзов и коалиций.

Шестое. В статье представлен комплекс математических моделей, который может использоваться для построения сценарных прогнозов развития обстановки.

Затронутые в работе проблемы и их краткая характеристика дают основания для формирования комплексной междисциплинарной программы научных работ в области национальной безопасности и политической экономии, интеграции различных подходов для решения важных для государства и общества задач.

⁹ Штеменко С.М. Генеральный штаб в годы войны. 2-е изд. / Лит. запись Г.А. Сомова. М.: Воениздат, 1989. С. 557-559.

Список источников

1. Клаузевиц К. О войне / Пер. с нем. А.К. Рачинского. М.: Госвоениздат, 1934. 692 с.
2. Караганов С.А. Уход военного превосходства Запада и геэкономика // Полис. Политические исследования. 2019. №6. С. 8-21.
3. Караганов С.А. От конструктивного разрушения к собиранию // Россия в глобальной политике. 2022. Т.20. №2(114). С. 52-69.
4. Балацкий Е.В. Россия в эпицентре геополитической турбулентности: признаки будущего доминирования // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2022. Т.15. №5. С. 33-54.
5. Балацкий Е.В. Эрозия институтов и экономический рост // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2023. Т.16. №3. С. 81-101.
6. Балацкий Е.В., Екимова Н.А. Антихрупкость национальной экономики: эвристическая оценка // Journal of New Economy. 2023. Т.24. №2. С. 28-49.
7. Reach C., Kilambi V., Cozad M. Russian Assessments and Applications of the Correlation of Forces and Means. Santa Monica: RAND Corporation, 2020. 172 p.
8. Alesina A., Spolaore E. War, Peace and the Size of Countries // Journal of Public Economics. 2005. No.89. Iss.7. P. 1333-1354.
9. Шумов В.В. Национальная безопасность: Моделирование и прогнозирование. М.: Ленанд, 2023. 138 с.
10. Белов М.В., Новиков Д.А. Модели опыта // Проблемы управления. 2021. №1. С. 43-60.
11. Тельнова Н.А. Основные принципы синергетики и их методологическое значение // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 7: Философия. Социология и социальные технологии. 2006. №5(5). С. 14-20.
12. Сороко Е. Л. Этнически смешанные супружеские пары в Российской Федерации // Демографическое обозрение. 2014. Т.1. №4. С. 96-123.
13. Трансформация этнической идентичности в России и в Украине в постсоветский период: сб. / Сост. И.А. Снежкова. М.: ИЭА РАН, 2013. 347 с.
14. Шумов В.В., Кочнев И.П. Оценка безопасности России, США, Германии и Украины // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2015. № 4(12). С. 30-41.
15. Шумов В.В. Безопасность регионов России и Украины: сравнительный анализ // История и современность. 2018. №1-2(27-28). С. 167-200.
16. Новиков Д. А. Иерархические модели военных действий // Управление большими системами: сб. трудов. 2012. №37. С. 25-62.

Информация об авторе

В.В. Шумов – доктор технических наук, профессор.

Научная статья
УДК 331.108.26

Методический аппарат определения трудоемкости выполнения научно-исследовательской работы

Александр Геннадьевич Подольский, Алексей Викторович Бабкин

Аннотация. В статье изложен методический аппарат определения трудоемкости выполнения научно-исследовательской работы, основанный на ее декомпозиции на задачи (подзадачи) и работы, на учете их продолжительности, а также специализации и квалификации работников. Показана взаимосвязь интенсивности работ сотрудников подразделения с трудоемкостью выполнения исследований. Рассмотрено влияние погрешности определения трудоемкости решения научной задачи (подзадачи) на величину риска превышения плановых значений трудоемкости и продолжительности ее решения.

Ключевые слова: аналогичная работа; базовая работа; декомпозиция; научно-исследовательская работа; трудоемкость; человеческие ресурсы

Для цитирования: Подольский А.Г., Бабкин А.В. Методический аппарат определения трудоемкости выполнения научно-исследовательской работы // Вооружение и экономика. 2024. №3(69). С. 75-88.

Original article

Methodical Apparatus for the Labor Efficiency Determination of Research Work Performance

Aleksandr G. Podolskii, Aleksei V. Babkin

Abstract. The article presents a methodical apparatus for labor efficiency determination of the research work based on its tasks (subtasks) and work decomposition, taking into account their duration, and the personnel specialization and qualifications as well. The interrelation to the division researcher work intensity and the research efficiency is shown. The effect of the efficiency determination error in the course of a scientific problem (subtask) solving on the risk of the planned values exceeding of efficiency and solution duration is considered.

Keywords: similar work; basic work; decomposition; research work; labor intensity; human resources

For citation: Podolskii A.G., Babkin A.V. Methodical Apparatus for the Labor Efficiency Determination of Research Work Performance. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2024;69(3): 75-88. (In Russ.).

Научно-исследовательская работа (НИР) является неотъемлемой частью жизненного цикла высокотехнологичной продукции военного и двойного назначения. В ее выполнении принимают участие большое количество специалистов в различных областях науки и техники, которые решают сложные научные и инженерные задачи, осуществляя сбор и систематизацию информации, проводя эксперименты и моделирование, а затем анализируют их результаты.

При формировании плановых документов осуществляется обоснование потребных затрат на НИР, величина которых в существенной степени зависит от продолжительности работ и количества трудовых ресурсов, принимающих в них участие, а следовательно, и от трудоемкости НИР. От уровня ее обоснованности зависит эффективность расходования бюджетных средств, направляемых в значительных объемах на выполнение НИР.

Так как уровень обоснования прогнозной цены НИР зависит от качества методического аппарата, используемого для определения трудоемкости, то его совершенствованию уделяется постоянное внимание. В публикациях, посвященных указанной тематике, изложены различные методические аспекты прогнозирования трудоемкости НИР, выполняемых в интересах формирования плановых документов [1; 2], подготовки научных и инженерных кадров [3], а также оптимизации численности персонала организации [4–6], которая непосредственно влияет на ее величину.

В то же время разработке методического аппарата, который бы в условиях отсутствия полной и достоверной информации о всех работах, которые должны быть выполнены в ходе НИР, в том числе состава и продолжительности их выполнения, количества привлекаемых сотрудников, их специализации и квалификации, что характерно для НИР, выполняемых в интересах создания образцов на новых физических принципах, а также для НИР, включаемых в среднесрочные и долгосрочные плановые документы, уделяется недостаточное внимание.

Важнейшую роль в выполнении НИР играет человеческий фактор, что проявляется в том, что создание качественной научной продукции в существенной степени зависит не только от творческих возможностей работников, но и от накопленных ими при решении научных задач знаний и умений, а также от способности регулировать свой трудовой процесс, что выражается в увеличении на определенных отрезках времени интенсивности труда в зависимости от достигнутых на текущее время результатов и установленного техническим заданием срока выполнения НИР (этапа НИР) с целью обеспечения планового значения трудоемкости выполнения НИР.

Следует также отметить, что в ходе выполнения НИР по созданию сложных технических систем военного назначения решается большое количество научно-технических задач, зачастую носящих уникальный характер. Их значительное количество и сложность не позволяют достоверно спланировать трудоемкость решения таких задач, что приводит к возникновению погрешности в ее оценке. Следовательно, возникает неопределенность в оценке трудоемкости выполнения как отдельных работ, так и НИР в целом.

В этих условиях для принятия обоснованных плановых решений по трудоемкости работ, которые непосредственно влияют на сроки выполнения этапов НИР и НИР в целом, необходимо учесть вероятностный характер трудоемкости, а, следовательно, значение риска превышения запланированного срока выполнения НИР (этапа НИР) и возможность его парирования посредством увеличения интенсивности труда. Указанный аспект не нашел отражения в существующих публикациях, в том числе в Методических рекомендациях по формированию начальной цены государственного контракта при размещении государственного оборонного заказа путем проведения торгов, утвержденных в 2008 году начальником вооружения Вооруженных Сил РФ – заместителем Министра обороны РФ (далее – Методические рекомендации).

Методический аппарат оценки трудоемкости НИР, изложенный в указанных Методических рекомендациях, включает несколько подходов. В первом подходе определение трудоемкости планируемой НИР осуществляется путем перемножения трудоемкости выполнения базовой НИР и коэффициента, характеризующего соотношение уровней сложности базовой и планируемой НИР. Указанный коэффициент определяется на основе сравнительного анализа решаемых в них задач с использованием процедуры экспертных оценок.

Данный подход характеризуется значительной погрешностью, так как он не учитывает специфику решаемых научных задач и выполняемых для их решения работ, особенно связанных с созданием образцов на новых физических принципах. Кроме того, может существенно отличаться состав работ, выполняемых в базовой и планируемой НИР, используемые при этом материально-техническое и программное обеспечение, а также моделирующие комплексы.

Во втором подходе коэффициент, характеризующий соотношение уровней сложности базовой и планируемой НИР, определяется путем использования формулы, в которой осуществляется перемножение отношений частных коэффициентов новизны, масштаба (количества) привлечения организаций и количества решаемых задач. Значения указанных коэффициентов для планируемой и базовой НИР определяются по соответствующим таблицам.

Так же, как и первый подход, указанный подход обладает значительной погрешностью, так как, во-первых, простое сопоставление количества решаемых в планируемой и базовой НИР задач без учета их специфики, результат которого входит в формулу для оценки коэффициента сложности в виде сомножителя, может привести к необоснованному значительному завышению или занижению прогнозной трудоемкости НИР.

Во-вторых, сопоставление количества организаций, участвующих в выполнении планируемой и базовой НИР, без учета особенностей выполняемых ими работ может привести к неадекватной прогнозной оценке трудоемкости, результат которого входит в формулу для оценки коэффициента сложности также в виде сомножителя.

В-третьих, использование в качестве оценок новизны планируемой и базовой НИР фиксированных для всех НИР коэффициентов не может объективно отразить масштаб новизны, а, следовательно, те сложности, которые могут возникнуть при решении научных задач в конкретной (планируемой) НИР. Кроме того, невозможно до начала выполнения НИР достоверно утверждать, что для качественного выполнения НИР будет достаточно применение уже известных методов, а также теоретических и методологических положений, или потребуются их новая разработка (доработка).

Схожие по сути недостатки имеют и другие методические подходы, изложенные в указанных Методических рекомендациях. Указанные недостатки делают возможным применение изложенного в них методического аппарата, когда отсутствуют исходные данные для применения иных подходов, в том числе предлагаемых в данной статье, предусматривающих, во-первых, структуризацию НИР на подзадачи различного уровня и на работы, которые необходимо выполнить для их решения, во-вторых, выбор базовой работы в соответствии с четко сформулированными условиями, выполнение которых способствует повышению обоснованности трудоемкости выполнения НИР, в-третьих, учет состава трудового коллектива для выполнения базовой работы и уровня квалификации входящих в него работников, а также учет долевого распределения затрат между задачами (подзадачами) нижнего уровня декомпозиции НИР.

Изложенное делает необходимым дальнейшее совершенствование существующего методического аппарата в области определения трудоемкости выполнения НИР.

В то же время в существующих публикациях недостаточно проработаны влияние интенсивности работ на трудоемкость выполнения НИР и взаимосвязь погрешности ее прогнозирования с величиной риска превышения прогнозного значения трудоемкости. Отмеченные недостатки негативно отражаются на обоснованности трудоемкости выполнения планируемой НИР.

Это обуславливает актуальность и новизну изложенного в статье методического аппарата оценки трудоемкости выполнения НИР, который для обеспечения его практической направленности предусматривает возможность использования сокращенного состава исходных данных, позволяющего тем не менее учесть основные особенности выполнения входящих в нее работ. Рассмотрим его суть и содержание.

В ходе выполнения НИР решается в общем случае несколько задач, имеющих важное значение для обеспечения военной и экономической безопасности Российской Федерации. Для учета специфики выполнения НИР при прогнозировании ее трудоемкости она декомпозируется не только на задачи, но и на подзадачи различного уровня, а также на работы, в которых участвуют один или более работников. Пример указанной декомпозиции, включающей 1-6 уровни, показан на рисунке 1.

В том случае, когда процесс выполнения работы может быть разбит на составные части (операции), отличающиеся продолжительностью и количеством привлекаемых работников, имеющих различную специализацию и квалификацию, декомпозиция включает дополнительные уровни, например, 5 и 6, показанные на рисунке 1, на которых расположены составные части соответствующих видов работ.

Формирование уровней 5 и 6 целесообразно только в том случае, если имеется информация о содержании составных частей работ, достаточная для обоснования трудоемкости. В противном случае это может привести к значительной погрешности в определении трудоемкости.

После того как проведен качественный анализ процесса создания научной продукции и осуществлена декомпозиция НИР реализуется процедура, состоящая в определении долевого распределения затрат человеческих ресурсов на выполнение отдельных видов работ для решения каждой задачи (подзадачи) нижнего уровня декомпозиции НИР.

Указанная процедура осуществляется в том случае, когда, во-первых, в НИР принимает участие значительное количество работников, что характерно для создания сложной высокотехнологичной продукции, и достоверное определение роли и вклада каждого работника в выполнение всех работ не представляется возможным, в особенности, если они должны обладать различной специализацией и квалификацией, во-вторых, требуется осуществить верификацию прогнозных оценок трудоемкости на предмет наличия в них значительной погрешности, которая снижает эффективность использования не только трудовых, но и финансовых ресурсов.

Предлагаемый подход не противоречит и не исключает применения традиционного подхода к определению трудоемкости НИР (при наличии соответствующих исходных данных), основанного на учете количества работников, участвующих в ее выполнении, и продолжительности затрачиваемого рабочего времени на выполнение каждой работы для решения всех задач в НИР, а логично дополняет его, обеспечивая получение обоснованных и адекватных прогнозных оценок трудоемкости НИР в условиях малого объема исходных данных или для проведения верификации прогнозных оценок.

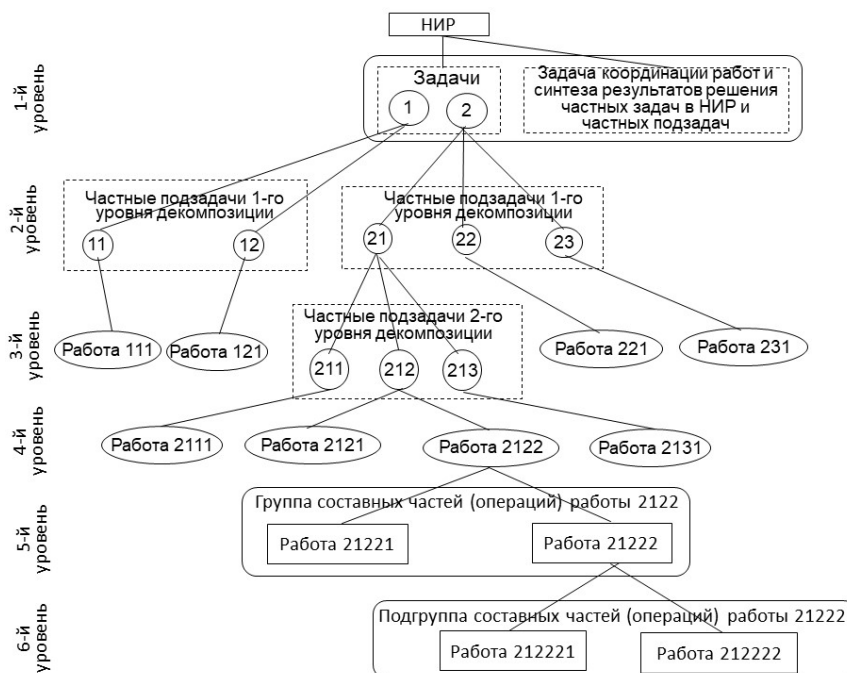


Рисунок 1 – Декомпозиция НИР

Результатом долевого распределения трудоемкости по работам являются значения показателей $a_{ДЗЧР_{ik}}$, $k = \overline{1, N_{ВР_i}}$, которые удовлетворяют условию:

$$\sum_{k=1}^{N_{ВР_i}} a_{ДЗЧР_{ik}} = 1,$$

где: $N_{ВР_i}$ – количество видов работ, которые должны быть выполнены для решения i -й задачи (подзадачи) нижнего уровня декомпозиции НИР;

$a_{ДЗЧР_{ik}}$ – доля затрат человеческих ресурсов, которые планируется выделить на выполнение k -й работы, в общем объеме затрат человеческих ресурсов, направляемых на решение i -й задачи (подзадачи) нижнего уровня декомпозиции НИР, $0 < a_{ДЗЧР_{ik}} \leq 1$.

Значения показателей $a_{ДЗЧР_{ik}}$, $k = \overline{1, N_{ВР_i}}$, определяются для каждой работы на основе результатов комплексного анализа сути всех работ, выполнение которых необходимо для решения i -й задачи (подзадачи), а также учета распределения трудозатрат между ранее выполненными работами в НИР, относящихся к одной предметной области с планируемой НИР.

Обозначим $\Omega_{ВР_i}$ множество видов работ, которые планируется выполнить для решения i -й задачи (подзадачи) нижнего уровня декомпозиции НИР. Среди работ из множества $\Omega_{ВР_i}$ выбираем работу (назовем ее базовой), для которой среди завершенных работ может быть найдена работа (назовем ее аналогичной), являющаяся наиболее близкой к ней в рассматриваемой предметной области по сути и составу используемых методических подходов, а также применяемого теоретического аппарата.

Для задач (подзадач) нижнего уровня декомпозиции, для решения которых выполняются единственные работы, такие работы условно считаются базовыми. Кроме того, при выборе базовой работы целесообразно, чтобы на ее выполнение требовалось близкое к среднему значение трудоемкости среди всех работ, которые необходимо выполнить для решения определенной задачи (подзадачи). Это позволит более точно отразить различие в затратах труда (в относительных единицах) между «базовой» работой и другими работами, для выполнения которых требуется меньше или больше трудовых ресурсов. Применение такого подхода обусловлено ограниченными возможностями человека по одновременному учету особенностей нескольких сравниваемых работ. При его реализации осуществляется сравнение не всех работ между собой, а

примерно в два раза меньшего числа – только работ, трудоемкость выполнения которых либо меньше трудоемкости базовой работы, либо больше ее.

Реализация на практике изложенного подхода будет способствовать минимизации погрешности прогнозирования трудоемкости выполнения не только базовой работы, но и остальных работ из множества Ω_{BP_i} , для формирования прогнозных оценок трудоемкости выполнения которых используется трудоемкость выполнения базовой работы.

Обозначим долю трудоемкости выполнения базовой работы в общей трудоемкости работ по решению i -й задачи (подзадачи) нижнего уровня декомпозиции НИР $a_{ДЗЧP_i}^B$, а фактические трудозатраты на выполнение аналогичной работы, которая является наиболее близкой к ней по сути и составу используемых методических подходов, а также применяемого теоретического аппарата – T_i^A .

В общем случае значение трудоемкости выполнения базовой работы T_i^B может отличаться от трудозатрат на выполнение аналогичной работы T_i^A в силу присущих каждой из них особенностей выполнения. В то же время так как для базовой работы среди уже выполненных работ выбирается наиболее близкая к ней по сути и составу используемых методических подходов и теоретического аппарата аналогичная работа, то расхождение между значениями трудоемкости их выполнения должно быть минимальным по сравнению с другими парами планируемых и соответствующих им завершенных работ, что способствует снижению погрешности прогнозирования трудоемкости планируемых работ.

Для формирования прогнозной оценки трудоемкости выполнения базовой работы могут быть использованы несколько методических подходов.

Первый подход применяется в том случае, когда существующий трудовой коллектив по составу и количеству входящих в него специалистов не может обеспечить качественное выполнение новых работ для решения i -й задачи (подзадачи) и требует учета, во-первых, изменения как количества работников, так и их специализации и уровня квалификации, например, для создания продукции на новых физических принципах, во-вторых, различного времени их работы.

В этом случае исходя из сути планируемой базовой работы формируются группы специалистов, имеющих одинаковую специализацию.

Если в какой-либо группе продолжительности работы специалистов в базовой НИР различаются, то формируются подгруппы специалистов, внутри которых продолжительности их работы приблизительно одинаковы.

Используя результаты формирования групп и подгрупп специалистов, получаем формулу для определения трудоемкости выполнения базовой работы, проводимой в интересах решения i -й задачи (подзадачи) нижнего уровня декомпозиции НИР:

$$T_i^B = \sum_{d=1}^{N_{ГC_i}} \sum_{s=1}^{N_{ПC_{id}}} (Q_{ids}^B + Q_{KH_{ids}}^B + Q_{ДН_{ids}}^B) \Delta t_{ids}^B (Q_{ids}^B, Q_{KH_{ids}}^B, Q_{ДН_{ids}}^B), \quad (1)$$

где: $N_{ГC_i}$ – количество групп специалистов, имеющих различную специализацию и участвующих в выполнении базовой работы, осуществляемой в интересах решения i -й задачи (подзадачи) нижнего уровня декомпозиции НИР;

$N_{ПC_{id}}$ – количество подгрупп специалистов, входящих в d -ю группу, в каждой из которых работы, выполняемые в интересах решения i -й задачи (подзадачи) нижнего уровня декомпозиции НИР, продолжают приблизительно одинаковое время;

Q_{ids}^B – количество работников в s -й подгруппе d -й группы, выполняющих базовую работу в интересах решения i -й задачи (подзадачи) нижнего уровня декомпозиции НИР, не являющихся кандидатами и докторами наук;

$Q_{KH_{ids}}^B$ – количество работников, входящих в s -ю подгруппу d -й группы и имеющих ученую степень кандидата наук, выполняющих базовую работу в интересах решения i -й задачи (подзадачи) нижнего уровня декомпозиции НИР;

$Q_{ДН_{ids}}^B$ – количество работников, входящих в s -ю подгруппу d -й группы и имеющих ученую степень доктора наук, выполняющих базовую работу в интересах решения i -й задачи (подзадачи) нижнего уровня декомпозиции НИР;

$\Delta t_{ids}^B(Q_{ids}^B, Q_{KHids}^B, Q_{ДНids}^B)$ – продолжительность отрезка времени, на котором работники s -й подгруппы d -й группы выполняют базовую работу в интересах решения i -й задачи (подзадачи) нижнего уровня декомпозиции НИР, зависящая от количества и квалификации сотрудников.

Учет в формуле (1) уровня квалификации работников и их специализации повышает точность прогнозирования трудоемкости решения не только базовой работы, выполняемой в интересах решения i -й задачи (подзадачи), но и обеспечивает адекватность оценки трудоемкости выполнения других работ, при определении трудоемкости которых, как будет показано далее, учитывается трудоемкость базовой работы.

Кроме того, варьируя значения количества сотрудников различной квалификации и специализации, можно в общем случае изменить продолжительность решения i -й задачи (подзадачи) и найти такой вариант структуры трудового коллектива, который обеспечивает минимум затрат трудовых ресурсов на решение i -й задачи (подзадачи).

Если значения показателей Q_{ids}^B , Q_{KHids}^B и $Q_{ДНids}^B$ обосновать не представляется возможным, то для определения трудоемкости реализации базовой работы, выполняемой в интересах решения i -й задачи (подзадачи) нижнего уровня декомпозиции НИР, применяется формула:

$$T_i^B = \sum_{d=1}^{N_{ГC_i}} \sum_{s=1}^{N_{ПC_{id}}} Q_{0ids}^B \Delta t_{ids}^B(Q_{0ids}^B), \quad (2)$$

где: Q_{0ids}^B – общее количество всех работников в s -й подгруппе d -й группы, выполняющих базовую работу в интересах решения i -й задачи (подзадачи) нижнего уровня декомпозиции НИР; $\Delta t_{ids}^B(Q_{0ids}^B)$ – продолжительность отрезка времени, на котором работники s -й подгруппы d -й группы выполняют базовую работу в интересах решения i -й задачи (подзадачи) нижнего уровня декомпозиции НИР, зависящая от количества сотрудников.

Варьируя количество и квалификацию работников, направляемых на решение i -й задачи (подзадачи), и определяя соответствующую продолжительность ее решения, можно найти такое значение количества работников, которое обеспечит минимум трудоемкости решения i -й задачи (подзадачи), что, в свою очередь, способствует минимизации трудоемкости выполнения НИР.

Для нахождения трудоемкости выполнения k -й работы из множества $\Omega_{ВР_i}$ на основе трудоемкости выполнения базовой работы применяется формула:

$$T_{ik} = T_i^B \frac{a_{ДЗЧР_{ik}}}{a_{ДЗЧР_i}^B}. \quad (3)$$

Подставляя формулы (1) и (2) в формулу (3), получаем аналитические выражения для определения трудоемкости выполнения k -й работы в интересах решения i -й задачи (подзадачи) нижнего уровня декомпозиции НИР, когда для оценки трудоемкости выполнения базовой работы используется первый подход:

$$T_{ik} = \frac{a_{ДЗЧР_{ik}}}{a_{ДЗЧР_i}^B} \sum_{d=1}^{N_{ГC_i}} \sum_{s=1}^{N_{ПC_{id}}} (Q_{ids}^B + Q_{KHids}^B + Q_{ДНids}^B) \Delta t_{ids}^B(Q_{ids}^B, Q_{KHids}^B, Q_{ДНids}^B), \quad (4)$$

$$T_{ik} = \frac{a_{ДЗЧР_{ik}}}{a_{ДЗЧР_i}^B} \sum_{d=1}^{N_{ГC_i}} \sum_{s=1}^{N_{ПC_{id}}} Q_{0ids}^B \Delta t_{ids}^B(Q_{0ids}^B). \quad (5)$$

Второй подход для оценки трудоемкости выполнения базовой работы применяется в случае, когда трудовой коллектив, выполнявший аналогичную работу, не требует изменения специализации его сотрудников, состава работников различной квалификации, количества входящих в него работников и учета различного времени их работы над решением i -й задачи (подзадачи).

В этом случае корректировка трудоемкости аналогичной работы при переходе к базовой работе состоит только в учете изменения продолжительности ее выполнения всем трудовым коллективом либо в меньшую сторону, если имеет место совершенствование

информационно-аналитического, программного и технического обеспечения исследований, а также сокращение числа испытаний и их длительности, использование искусственного интеллекта, развитие методического аппарата и моделирующих комплексов, либо в большую сторону, если требуется увеличение объема собираемой и анализируемой информации, увеличение количества и/или длительности испытаний, а также усовершенствование (разработка нового) методического обеспечения (теоретической базы).

Для оценки корректирующего коэффициента K_{Ki}^B вся совокупность операций, выполняемых в аналогичной работе в интересах решения i -й задачи (подзадачи), условно принимается за 100 % и разбивается на три группы работ:

1-я группа – совокупность операций, выполняемых в аналогичной работе, продолжительность которых не изменяется при переходе к базовой работе;

2-я группа – совокупность операций, выполняемых в аналогичной работе, продолжительность которых снижается при переходе к базовой работе;

3-я группа – совокупность операций, выполняемых в аналогичной работе, продолжительность которых повышается при переходе к базовой работе.

2-я и 3-я группы операций делятся на подгруппы, в каждую из которых входят операции, имеющие приблизительно одинаковый рост (снижение).

Введем следующие обозначения для количества таких подгрупп:

$N_{ПОВ}$ – количество подгрупп операций, продолжительность выполнения каждой из которых выросла в одинаковое количество раз при переходе от аналогичной работы к базовой;

$N_{ПОС}$ – количество подгрупп операций, продолжительность выполнения каждой из которых сократилась в одинаковое количество раз при переходе от аналогичной работы к базовой.

С учетом введенных групп и подгрупп операций формула для определения корректирующего коэффициента K_{Ki}^B принимает вид:

$$K_{Ki}^B = \sum_{r=1}^{N_{ПОВ}} \rho_{ДОВ_{ir}}^A (K_{ОВ_{ir}}^A) K_{ОВ_{ir}}^A + \sum_{s=1}^{N_{ПОС}} \rho_{ДОС_{is}}^A (K_{ОС_{is}}^A) K_{ОС_{is}}^A,$$

где: $\rho_{ДОВ_{ir}}^A (K_{ОВ_{ir}}^A)$ – доля трудоемкости выполнения операций в общей трудоемкости выполнения аналогичной работы, продолжительность которых выросла в $K_{ОВ_{ir}}^A$ раз при переходе к базовой работе;

$K_{ОВ_{ir}}^A$ – показатель, характеризующий во сколько раз выросла трудоемкость выполнения операций, принадлежащих r -й подгруппе, при переходе к идентичным операциям в базовой работе;

$\rho_{ДОС_{is}}^A (K_{ОС_{is}}^A)$ – доля трудоемкости выполнения операций в общей трудоемкости выполнения аналогичной работы, продолжительность которых снизилась в $K_{ОС_{is}}^A$ раз при переходе к базовой работе;

$K_{ОС_{is}}^A$ – показатель, характеризующий во сколько раз снизилась трудоемкость выполнения операций, принадлежащих s -й подгруппе, при переходе к идентичным операциям в базовой работе.

Если значения показателей $\rho_{ДОВ_{ir}}^A (K_{ОВ_{ir}}^A)$, $\rho_{ДОС_{is}}^A (K_{ОС_{is}}^A)$, $K_{ОВ_{ir}}^A$ и $K_{ОС_{is}}^A$ отсутствуют, то для определения трудоемкости выполнения базовой работы, осуществляемой в интересах решения i -й задачи (подзадачи) нижнего уровня декомпозиции НИР, принимает вид:

$$T_i^B = K_{Ki}^B T_i^A, \quad (6)$$

где K_{Ki}^B – корректирующий коэффициент, характеризующий изменение продолжительности выполнения аналогичной работы при переходе к базовой работе, выполняемой в интересах решения i -й задачи (подзадачи) нижнего уровня декомпозиции НИР.

Величина корректирующего коэффициента K_{Ki}^B оценивается экспертным способом.

Значение показателя T_i^A должно пройти проверку на отсутствие при его формировании нецелевого использования трудовых ресурсов и наступления форс-мажорных событий, имеющих незначительную вероятность наступления, но приводящих к существенному возрастанию трудоемкости выполнения работ. При выявлении нецелевого расходования трудовых ресурсов и (или) наступления форс-мажорных событий трудоемкость выполнения аналогичной работы должна быть сокращена на соответствующую величину.

Подставляя формулу (6) в формулу (3), получаем аналитическое выражение для определения трудоемкости выполнения k -й работы в интересах решения i -й задачи (подзадачи) нижнего уровня декомпозиции НИР:

$$T_{ik} = T_i^A K_{Ki}^B \frac{a_{ДЗЧР_{ik}}}{a_{ДЗЧР_i}^B}. \quad (7)$$

Точность оценки трудоемкости выполнения k -й работы по формулам (4), (5) и (7) в существенной степени зависит от того, насколько близко значения показателей Q_{ids}^B , $Q_{KH_{ids}}^B$, $Q_{ДН_{ids}}^B$, $Q_{O_{ids}}^B$, $\Delta t_{ids}^B(Q_{ids}^B, Q_{KH_{ids}}^B, Q_{ДН_{ids}}^B)$, $\Delta t_{ids}^B(Q_{O_{ids}}^B)$, $d = \overline{1, N_{Гс}}$, $s = \overline{1, N_{Пс_{id}}}$ и K_{Ki}^B расположены к их истинным значениям.

Под истинными значениями указанных показателей понимаются такие значения, которые соответствуют целевому использованию трудовых ресурсов, укомплектованности трудового коллектива необходимыми для выполнения k -й работы специалистами, адекватной оценке продолжительности выполнения работ и отсутствию форс-мажорных событий.

Суммарная трудоемкость решения i -й задачи (подзадачи) нижнего уровня декомпозиции НИР определяется по формуле:

$$T_{1i} = \sum_{k=1}^{N_{BP_i}} T_{ik}.$$

При определении трудоемкости выполнения НИР необходимо учитывать, что помимо решения частных задач (подзадач) нижнего уровня декомпозиции НИР, для ее качественного выполнения осуществляются работы координирующего характера, а также работы по синтезу полученных результатов.

Исходя из этого, трудоемкость выполнения НИР определяется по формуле:

$$T_{НИР} = \sum_{i=1}^{N_3} T_{1i} + T_{КС},$$

где: N_3 – количество задач (подзадач) нижнего уровня декомпозиции НИР, не связанных с координацией работ и синтезом полученных результатов;

$T_{КС}$ – трудоемкость работ координирующего характера, а также работ по синтезу полученных результатов.

Для определения значения показателя $T_{КС}$ используется один из выше изложенных подходов к определению трудоемкости решения i -й задачи (подзадачи). Если необходимые для этого исходные данные отсутствуют, то для определения трудоемкости выполнения НИР используется формула:

$$T_{НИР} = (1 + a_{КС}) \sum_{i=1}^{N_3} T_{1i},$$

где $a_{КС}$ – доля трудоемкости работ координирующего характера, а также работ по синтезу полученных результатов решения частных задач (подзадач) нижнего уровня декомпозиции НИР, в суммарной трудоемкости решения всех задач (подзадач), $a_{КС} > 0$.

Применение изложенного методического аппарата к определению трудоемкости выполнения НИР требует значительно меньшего времени для формирования прогнозных оценок и сбора необходимых для этого исходных данных по сравнению с подходом, основанным на знании продолжительности всех работ, выполняемых в НИР, и составе работников, принимающих в них участие, которые при долгосрочном и даже среднесрочном прогнозировании обладают значительной неопределенностью, что негативно отражается на достоверности прогнозных оценок.

Учитывая важность обеспечения адекватности оценки трудоемкости выполнения базовой работы, которая затем используется для определения по формуле (3) трудоемкости выполнения иных работ, а также для проверки адекватности значений трудоемкости выполнения всех работ в интересах решения i -й задачи (подзадачи), реализуется процедура, которая состоит в следующем.

Осуществляется поиск другой базовой работы и соответствующей ей аналогичной работы, выполненной в одной с ней предметной области. Затем для оценки трудоемкости осуществления всех работ, выполнение которых необходимо для решения i -й задачи (подзадачи) нижнего уровня декомпозиции, в зависимости от состава имеющихся исходных данных применяется одна из формул – (4), (5) или (7). Полученные прогнозные оценки суммируются для нахождения трудоемкости решения указанной задачи – T_{2i} .

Таким образом, получены две оценки трудоемкости выполнения всех работ, необходимых для решения i -й задачи (подзадачи) нижнего уровня декомпозиции:

T_{1i} – для случая первоначального выбора базовой работы;

T_{2i} – для случая вторичного выбора базовой работы.

Предположим, что показатели, входящие в формулы (4), (5) и (7), не содержат грубых, субъективных и систематических погрешностей, то есть адекватно отражают процесс формирования трудоемкости решения i -й задачи (подзадачи). В этом случае расхождение между показателями T_{1i} и T_{2i} , являющимися оценками одного и того же истинного значения, обусловлено случайными погрешностями показателей, входящих в формулы (4), (5) и (7). Поэтому значения показателей T_{1i} и T_{2i} следует рассматривать как случайные величины, которые не содержат грубые, субъективные и систематические погрешности.

Тогда значительное расхождение между значениями показателей T_{1i} и T_{2i} маловероятно и величина их относительного расхождения может быть использована для оценки адекватности прогнозного значения трудоемкости решения i -й задачи (подзадачи) T_{1i} .

Относительное расхождение значений указанных показателей трудоемкости определяется по формуле:

$$\varepsilon_i = \frac{|T_{1i} - T_{2i}|}{T_{1i}}.$$

Незначительное расхождение между оценками трудоемкости, полученными на основе различных базовых работ, позволяет сделать вывод, что значение показателя T_{1i} адекватно отражает трудоемкость решения i -й задачи (подзадачи). Если же значения показателей T_{1i} и T_{2i} значительно отличаются, например, на более, чем 30 %, то есть $\varepsilon_i \geq 30\%$, то целесообразно провести проверку обоснованности показателей, входящих в формулу, используемую для определения трудоемкости решения i -й задачи (подзадачи) – T_{1i} .

Предположим, что оценка T_{1i} адекватно отражает трудоемкость решения i -й задачи (подзадачи). В дальнейшем в указанном показателе индекс «1» опускается, так как он перестает носить смысловой характер.

Истинное значение трудоемкости решения i -й задачи (подзадачи) может быть как меньше, так и больше прогнозного значения трудоемкости, определенного с применением изложенного выше методического аппарата.

Предположим, что трудоемкость решения i -й задачи (подзадачи) подчиняется приблизительно нормальному закону распределения. Корректность данного предположения основана на том, что трудоемкость решения i -й задачи (подзадачи) может быть представлена как сумма большого количества независимых и незначительных по трудоемкости работ, ни одна из которых не являются доминирующей.

Согласно теореме А.Ляпунова, если случайная величина ξ представляет собой сумму очень большого числа взаимно независимых случайных величин $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_N$, влияние каждой из которых на всю сумму ничтожно мало, то величина ξ имеет распределение, близкое к нормальному [7].

Для нахождения среднего квадратического отклонения трудоемкости решения i -й задачи (подзадачи) воспользуемся методом трех сигм. Для этого определяется величина относительного отклонения, выход за пределы которого можно считать практически невозможным событием. Указанное отклонение, определенное экспертным способом, обозначим ε_i^{max} , %.

Тогда среднее квадратическое отклонение трудоемкости решения i -й задачи (подзадачи) определяется по формуле:

$$\sigma_i = \frac{T_i \varepsilon_i^{max}}{300}.$$

Нахождение указанного статистического параметра и сделанное предположение о приблизительно нормальном законе распределения прогнозного значения трудоемкости позволяет сформировать доверительный интервал, который с заданной вероятностью покрывает истинное значение трудоемкости решения i -й задачи (подзадачи):

$$\left(T_i - \mu_{1-\frac{p}{2}} \sigma_i, T_i + \mu_{1-\frac{p}{2}} \sigma_i \right),$$

где $\mu_{1-\frac{p}{2}}$ – квантиль стандартного нормального распределения, соответствующий уровню значимости p .

Важной особенностью научной деятельности является то, что она может выполняться с различной интенсивностью. Иными словами, фиксированный объем научных работ, выполнение которых при нормальной их интенсивности осуществляется работником (трудовым коллективом) за время t и требует трудозатрат T , при увеличении интенсивности труда работника (трудового коллектива) может быть выполнен за меньшее время $t - \Delta t$, которому соответствуют меньшие трудозатраты $T - \Delta T$.

Под нормальной интенсивностью работы понимается такая интенсивность, при которой работник использует рабочее время по целевому назначению и сохраняет высокую работоспособность длительное время, а также не наносится вред его здоровью.

Следует иметь в виду, что повышение интенсивности работы сверх нормального уровня, может носить только временный характер, а следовательно, величина возможного сокращения трудоемкости решения i -й задачи (подзадачи) ограничена.

Будем характеризовать максимально возможную относительную величину сокращения трудоемкости решения i -й задачи (подзадачи) показателем ε_{CT_i} , %.

Таким образом, если в процессе решения i -й задачи (подзадачи) будет выявлена недостаточность запланированной трудоемкости ее решения и прогнозная оценка увеличения трудоемкости при нормальной интенсивности работ составит ΔT_{yT_i} относительно планового значения T_i , то за счет возрастания интенсивности труда работника (трудового коллектива) трудоемкость решения i -й задачи (подзадачи) может быть сокращена на величину не более $T_i \frac{\varepsilon_{CT_i}}{100}$. Иными словами, если выполняется неравенство:

$$\Delta T_{yT_i} \leq T_i \frac{\varepsilon_{CT_i}}{100},$$

то общее время решения i -й задачи (подзадачи) не превысит планового значения.

В противном случае будет иметь место увеличение продолжительности решения i -й задачи (подзадачи) относительно планового значения, величина которой приближенно определяется по формуле:

$$\Delta t_i = \frac{\left(\Delta T_{yT_i} - T_i \frac{\varepsilon_{CT_i}}{100} \right)}{Q_i},$$

где Q_i – средневзвешенное во времени количество работников в трудовом коллективе, занятых решением i -й задачи (подзадачи).

Значение показателя Q_i определяется по формуле:

$$Q_i = \sum_{r=1}^{N_{P_i}} \frac{\Delta t_{P_{ir}}}{t_i},$$

где: N_{P_i} – количество работников, участвующих в решении i -й задачи (подзадачи);

$\Delta t_{P_{ir}}$ – продолжительность участия r -го работника в решении i -й задачи (подзадачи),

$0 < \Delta t_{P_{ir}} \leq t_i$;

t_i – плановая продолжительность решения i -й задачи (подзадачи).

Зная среднее квадратическое отклонение прогнозной трудоемкости решения i -й задачи (подзадачи) σ_i , ее прогнозную оценку T_i и значение максимально возможной трудоемкости, на которую может быть сокращена общая трудоемкость решения i -й задачи (подзадачи), определяемая по формуле:

$$\Delta T_{\text{МСТ}_i} = T_i \frac{\varepsilon_{\text{СТ}_i}}{100}, \quad (8)$$

оценивается вероятность наступления события, состоящего в превышении фактическим значением трудоемкости решения i -й задачи (подзадачи) заданного значения $T_i + \Delta T_i$.

В аналитическом виде вероятность наступления указанного события записывается в следующем виде:

$$P_{\text{МИ}_i}(T_{\Phi_i} > T_i + \Delta T_i) = P_{\text{НИ}_i}(T_{\Phi_i} > T_i + \Delta T_i + \Delta T_{\text{МСТ}_i}),$$

где: $P_{\text{МИ}_i}(T_{\Phi_i} > T_i + \Delta T_i)$ – вероятность превышения фактическим значением трудоемкости решения i -й задачи (подзадачи) T_{Φ_i} значения $T_i + \Delta T_i$ при условии, что интенсивность труда работников будет максимально повышена;

$P_{\text{НИ}_i}(T_{\Phi_i} > T_i + \Delta T_i + \Delta T_{\text{МСТ}_i})$ – вероятность превышения фактическим значением трудоемкости решения i -й задачи (подзадачи) T_{Φ_i} значения $T_i + \Delta T_i + \Delta T_{\text{МСТ}_i}$ при условии нормальной интенсивности труда работников.

Рисунок 2 иллюстрирует формирование вероятности превышения трудоемкости решения i -й задачи (подзадачи) значения $T_i + \Delta T_i$ при условии возможности увеличения интенсивности труда работников выше нормального уровня, приводящего к максимально возможному сокращению трудоемкости решения указанной задачи (подзадачи) на $\Delta T_{\text{МСТ}_i}$, определяемому по формуле (8).

Для оценки величины вероятности $P_{\text{МИ}_i}(T_{\Phi_i} > T_i + \Delta T_i)$ (далее для краткости записи приведенного показателя выражение в скобках опускается) первоначально определяется квантиль стандартного нормального распределения $\mu_{1-P_{\text{МИ}_i}}$, соответствующий уровню значимости $2P_{\text{МИ}_i}$ по формуле:

$$\mu_{1-P_{\text{МИ}_i}} = \frac{\Delta T_i + T_i \frac{\varepsilon_{\text{СТ}_i}}{100}}{\sigma_i}.$$

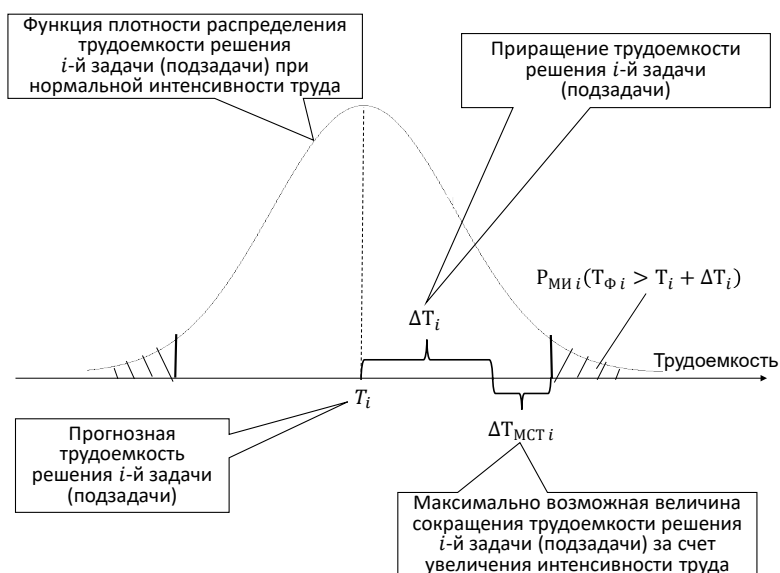


Рисунок 2 – Иллюстрация формирования вероятности превышения трудоемкости решения i -й задачи (подзадачи) значения $T_i + \Delta T_i$ при условии возможности увеличения интенсивности труда работников

Для удобства пользователя в таблице 1 приведены значения квантилей стандартного нормального распределения $\mu_{1-P_{МИi}}$ [7].

Для иллюстрации работоспособности изложенного методического аппарата рассмотрим пример.

Предположим, что в соответствии с техническим заданием требуется решить две научные задачи – «1» и «2». Анализ их сути позволил провести декомпозицию НИР на задачи и подзадачи, а также на работы, которые необходимо выполнить для их решения, представленную на рисунке 3. Для решения задачи «1» необходимо решить подзадачи «11» и «12», а для решения задачи «2» – подзадачи «21» и «22». Для подзадачи «11» требуется выполнить работу «111», для подзадачи «12» – работу «121», для подзадачи «21» – две работы «211» и «212» и для подзадачи «22» – работу «221».

На основе результатов комплексного анализа сути работ «211» и «212», выполнение которых необходимо для решения подзадачи «21», осуществлено долевое распределение затрат человеческих ресурсов между указанными работами: $a_{ДЗЧР_{211}} = 0,6$, $a_{ДЗЧР_{212}} = 0,4$.

Среди двух работ «211» и «212» выбирается базовая работа. Предположим, что такой работой является работа «211».

Применим для формирования прогнозной оценки трудоемкости выполнения базовой работы «211» первый из изложенных выше подходов.

Таблица 1 – Квантили стандартного нормального распределения $\mu_{1-P_{МИi}}$, соответствующие уровню значимости $2P_{МИi}$

$2P_{МИi}$	$\mu_{1-P_{МИi}}$	$2P_{МИi}$	$\mu_{1-P_{МИi}}$	$2P_{МИi}$	$\mu_{1-P_{МИi}}$
0,8	0,25	0,15	1,44	0,01	2,58
0,5	0,67	0,10	1,64	0,005	2,81
0,4	0,84	0,05	1,96	0,002	3,09
0,3	1,04	0,04	2,05	0,001	3,29
0,25	1,15	0,02	2,33	0,0001	3,89
0,20	1,28				

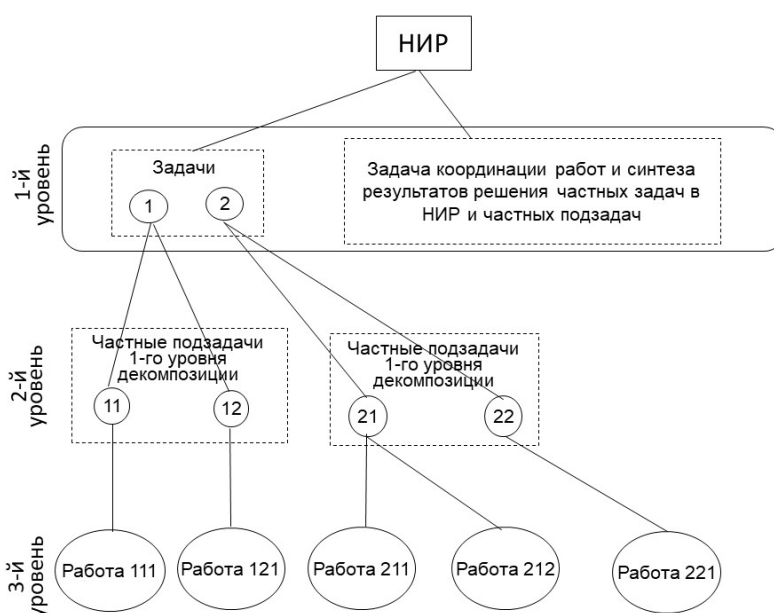


Рисунок 3 – Декомпозиция НИР

Предположим, что для выполнения базовой работы «211» требуется сформировать две группы специалистов без их деления на подгруппы. Первая группа включает одного доктора наук, одного кандидата наук и одного работника, не имеющего ученой степени. Вторая группа включает одного кандидата наук и одного работника, не имеющего ученой степени. Продолжительность выполнения работниками первой группы базовой работы составляет 5 дней, а работниками второй группой – 10 дней.

Тогда трудоемкость выполнения базовой работы «211» в интересах решения подзадачи «21» определяется по формуле:

$$T_{21}^B = 5(1 + 1 + 1) + 10(1 + 1) = 35 \text{ чел. дн.}$$

Трудоемкость выполнения работы «212» в интересах решения второй подзадачи определяется по формуле:

$$T_{212} = 35 \frac{0,4}{0,6} = 23 \text{ чел. дн.}$$

Суммарная трудоемкость решения подзадачи «21» определяется по формуле:

$$T_{21} = 35 + 23 = 58 \text{ чел. дн.}$$

Предположим, что анализ сути подзадач «11», «12» и «22» показал, что для их решения достаточно выполнить по одному виду работ – «111», «121» и «221» соответственно, продолжительностью 5 дней, в которых участвуют трудовые коллективы, имеющие однородный состав: один кандидат наук и один работник, не имеющий ученой степени. Исходя из этого трудоемкости решения подзадач «11», «12» и «22» определяются по формулам:

$$T_{11} = 5(1 + 1) = 10 \text{ чел. дн, } T_{12} = 5(1 + 1) = 10 \text{ чел. дн, } T_{22} = 5(1 + 1) = 10 \text{ чел. дн.}$$

Предположим, что, исходя из анализа ранее выполненных НИР, установлено, что средняя доля трудоемкости работ координирующего характера, а также работ по синтезу полученных результатов, в суммарной трудоемкости решения всех задач в НИР составляет 0,1.

Тогда трудоемкость выполнения НИР определяется по формуле:

$$T_{\text{НИР}} = (1 + 0,1)(58 + 10 + 10 + 10) = 97 \text{ чел. дн.}$$

Изложенный методический аппарат позволяет обосновать трудоемкость выполнения научно-исследовательской работы, основываясь на учете основных факторов, определяющих ее величину, к которым относятся состав задач (подзадач), требующих решения, перечень работ, которые необходимо выполнить на заданном отрезке времени, а также специализация и квалификация работников. Кроме того, важным для оценки возможности выполнения НИР в запланированные сроки и принятия обоснованных управляющих воздействий, состоящих в изменении интенсивности работы сотрудников подразделения, является оценка вероятности (риска) превышения заданного значения трудоемкости решения задачи. Таким образом, реализация на практике предложенного методического аппарата будет способствовать повышению эффективности использования трудовых ресурсов, привлекаемых к научным исследованиям, а следовательно, и расходованию бюджетных средств, направляемых на их выполнение.

В условиях отсутствия межведомственной методики оценки трудоемкости выполнения НИР предлагается разработать проект такой методики, которая включала бы различные методические подходы, применяемые в зависимости от состава имеющихся исходных данных и специфики НИР, в том числе изложенные в Методических рекомендациях и в данной статье.

Применение межведомственной методики позволяет обеспечить, во-первых, объективность прогнозных оценок трудоемкости выполнения НИР, во-вторых, их согласованность между заинтересованными федеральными ведомствами при использовании идентичного состава исходных данных, в-третьих, повышение обоснованности прогнозных значений стоимостных показателей НИР.

Список источников

1. Акимов В.А., Дурнев Р.А., Жданенко И.В. В поисках подходов к оценке трудоемкости НИОКР в области безопасности жизнедеятельности: процедура оценки трудозатрат // Современные наукоемкие технологии. 2012. №2. С. 20-32.
2. Дурнев Р.А., Жданенко И.В. Оценка трудоемкости НИОКР: некоторые результаты нормирования научного труда // Современные наукоемкие технологии. 2013. №12. С. 40-48.
3. Семенченко Е.Е., Ашурбеков Р.А., Круглинский И.К. Оценка интеллектуального труда в системе подготовки кадров: проблемы классической теории и методологии: монография. М.: Проспект, 2021. 160 с.
4. Фильченков А.Н. Метод оптимизации численности персонала и расчет эквивалента полной занятости работников // Economics. 2018. №5(37). С. 25-30.
5. Шугай П.А. Анализ методов расчета и обоснования оптимальной численности персонала организации // Цифровая экономика: проблемы и перспективы развития: сб. науч. статей Межрегион. науч.-практ. конф. (г. Курск, 2019, 14-15 ноября). Курск: ЮЗГУ, 2019. С. 208-213.
6. Шапошникова О.В. Современные методы расчета оптимальной численности персонала организации // Инновационное развитие экономики: сб. науч. трудов по материалам VIII Междунар. науч.-практ. конф. (г. Анапа, 2019, 08 июля). Анапа: НИЦ ЭиСП, 2019. С. 52-59.
7. Пустыльник Е.Н. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. М.: Наука, 1968. 288 с.

Информация об авторах

А.Г. Подольский – доктор экономических наук, профессор, SPIN код автора 4731-0270.
А.В. Бабкин – SPIN код автора 7204-9473.

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:

6.2.1. *Вооружение и военная техника;*

6.3.2. *Военная экономика, оборонно-промышленный потенциал;*

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 («11» предпочтительнее);
- для выделения по смыслу текстовых элементов внутри абзацев статьи следует использовать *курсив* (предпочтительно) или *p a z p a d k y* (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 научной специальности – указать один из «6.2.1», «6.3.2», «5.2.6»;
- тип статьи – как правило, 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 (тема), аннотация, ключевые слова статьи *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 (в т.ч. *на английском языке*) с заголовками «Список источников» и «References» – как правило, не менее пяти источников.

В файле статьи допускается наличие формул, рисунков и таблиц. При их наличии обязательна сквозная нумерация (отдельно формул, отдельно рисунков, отдельно таблиц) и ссылки на них из текста статьи, для формул возможна выборочная нумерация.

Математические формулы, в т.ч. их элементы, должны быть редактируемы и вставлены в файл статьи как «уравнение» (не «рисунок») – Microsoft Word или как «объект MathType» либо как «объект Math» – OpenOffice.org (LibreOffice.org).

Рисунки (иллюстрации, схемы, графики, диаграммы и т.п.) должны быть вставлены в файл статьи отдельными объектами «изображение» (или «рисунок»).

Таблицы должны быть набраны средствами того же текстового редактора, который использовался для набора текста файла статьи. Ячейки таблицы должны быть редактируемы (не должны быть вставлены в текст файла статьи как «рисунок»).

Обозначения математических формул, подписи рисунков, заголовки таблиц, а также сноски и ссылки на литературу оформляются в текстовом виде в соответствии с ГОСТом.

4. Статья должна оканчиваться списком источников (как правило, не менее 5 наименований), в котором указываются только авторские научные произведения (опубликованные статьи, монографии, материалы очных конференций, а также патенты), подлежащие включению в систему Российского индекса научного цитирования (более подробную информацию см. <http://www.elibrary.ru>). Объём самоцитирования, если авторы ссылаются на собственные работы, как правило, не должен превышать 20% от общего количества источников в списке.

Список составляется в том порядке, в котором источники упоминаются в тексте статьи, и оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Национальный стандарт Российской Федерации. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления».

Ссылки на другие источники (любые электронные ресурсы, нормативные документы, статистические сборники, учебная литература, любые справочники, авторефераты и диссертации, ненаучные публикации и т.п.) оформляются только в формате подстрочных библиографических ссылок – сносок внизу страницы.

5. Среди авторского коллектива определяется ответственное контактное лицо, которое непосредственно будет взаимодействовать с редакцией журнала по всем вопросам опубликования статьи, с чьего личного адреса (как электронного, так и почтового) должны быть отправлены в редакцию журнала следующие материалы:

на почтовый адрес редакции (либо нарочным) – оригиналы документов:

- распечатка (рукопись) статьи с личными подписями авторов;
- заключение о возможности открытого опубликования статьи, подготовленное в соответствии с требованиями приложения № 2 к приказу Министра обороны РФ от 5 июня 2015 г. № 320дсп (для авторов-представителей Минобороны России) или в соответствии с требованиями решения Межведомственной комиссии по защите государственной тайны от 30 октября 2014 г. № 293 (для авторов-представителей других ведомств);
- рецензия на статью, подписанная, как правило, доктором наук, подпись которого заверена установленным порядком;

на электронную почту редакции – файлы:

- файл статьи, соответствующий п.п.3,4 настоящих Правил;
- файл с карточками авторов (отдельная карточка на каждого автора);
- исходные файлы рисунков, имеющих в тексте статьи;
- файлы фотографий каждого автора в одном из общепринятых графических форматов: портретная, без посторонних людей в кадре, размер фотографии не менее 300 пикселей по горизонтали и 400 пикселей по вертикали (предоставляется по желанию).

Карточка автора

Имя	
Отчество	
Фамилия	
Ученая степень	
Ученое звание	
Детализация личного вклада автора в написание статьи	
Указание об отсутствии или наличии конфликта интересов и детализация такого конфликта в случае его наличия	
Основное место работы автора, в т.ч. адрес	
Должность	
Контактный телефон	
Адрес электронной почты	
Год рождения автора	
Год защиты диссертации	
SPIN-код автора	
ORCID-идентификатор автора	
Сведения о членстве и статусе (академик, член-корреспондент, почетные звания, пр.) в научных организациях	
Сведения о членстве в других редколлегиях / редсоветах	
Наличие зарубежных научных званий / степеней	
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*

ВИКУЛОВ Сергей Филиппович

доктор экономических наук, профессор – *заместитель главного редактора*

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

ЛАВРИНОВ Геннадий Алексеевич

доктор экономических наук, профессор – *заместитель главного редактора*

ЛЕОНОВ Александр Васильевич

доктор экономических наук, профессор

НАЙДЕНОВ Владимир Герасимович

доктор технических наук, старший научный сотрудник

ПОДОЛЬСКИЙ Александр Геннадьевич

доктор экономических наук, профессор

СИВКОВ Константин Валентинович

доктор военных наук, профессор

ХРУСТАЛЕВ Евгений Юрьевич

доктор экономических наук, профессор

ХУДЯКОВ Дмитрий Владимирович

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

ЦЕЛЫКОВСКИХ Александр Александрович

доктор военных наук, профессор

ЧИСТОВ Игорь Вадимович

доктор экономических наук, профессор

2024 №3 (69)

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.
Викулов С.Ф.
Гладышевский В.Л.
Лавринов Г.А.

Ученый секретарь
Худяков Д.В.

Редактор
Молчанова Т.М.

Перевод
Криворучко О.В.

ВООРУЖЕНИЕ И ВОЕННАЯ ТЕХНИКА

Корчак В.Ю., Брайткрайц С.Г., Воронцов П.С.

Закономерности эволюционно-технологического подхода в развитии навигационных технологий для вооружения, военной и специальной техники

Буравлев А.И., Белорозов М.С., Михалкин А.В.

К вопросу оптимального распределения ассигнований, выделяемых в программный период, на закупку и ремонт вооружения и военной техникой

Пьянков А.А., Звягинцев С.А., Филатов И.Н.

Каталогизация, унификация и стандартизация оборонной продукции в едином контуре управления номенклатурой, поставляемой по государственному оборонному заказу

Горский А.С., Полушкин В.М., Ермоленко А.В.

Комплексный подход к проведению испытаний систем искусственного интеллекта

Стукалин С.В., Хованов Д.Г., Першиков Г.Ю.

Подход к определению обобщенных критериев шкалирования военных технологий на основе аппроксимационного метода

Глазунов Ю.М., Аносов Р.С., Бывших Д.М.

Методика оценки технико-экономического выигрыша от использования технологии программируемого радио при создании техники радиоэлектронной борьбы

ВОЕННАЯ ЭКОНОМИКА

Леонов А.В., Пронин А.Ю., Лендоев К.В.

Обоснование оптимального начала переоснащения войск на перспективные виды вооружения с учетом этапов их жизненного цикла

Шумов В.В.

Почему Россия достигнет целей специальной военной операции? Количественный анализ

Подольский А.Г., Бабкин А.В.

Методический аппарат определения трудоемкости выполнения научно-исследовательской работы

Вооружение и экономика