

Научная статья
УДК 623.094

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

Евгений Александрович Антохин

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

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

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

Original article

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

Evgenii A. Antokhin

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

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

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

Введение

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

1 Формализованная постановка задачи

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

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

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

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

w_n – n -й исследуемый образец ЭВН;

N – общее количество исследуемых образцов ЭВН.

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

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

где: j – порядковый номер ЭТС образцов ЭВН;

J – общее количество свойств исследуемых образцов ЭВН;

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

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

2 Предлагаемое решение

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Примечание: * – дополнительные ЭТС АЭВН

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

где: n – порядковый номер исследуемого образца ЭВН;

i – порядковый номер представительной ТТХ образца ЭВН;

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Примечания:

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

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

1 (если обобщенная оценка экспертов «отлично»);

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

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

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

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

1 (если обобщенная оценка экспертов «отлично»);

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

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

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

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

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

1 (если обобщенная оценка экспертов «отлично»);

0,66 (если обобщенная оценка экспертов «хорошо»);
0,33 (если обобщенная оценка экспертов «удовлетворительно»).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

T – планируемый срок нахождения на вооружении;

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

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

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

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

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

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

T_n – назначенный срок службы n -го образца ЭВН.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Третий вариант (при неопределенности исходных данных).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Выводы

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

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

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

Список источников

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

Информация об авторе

Е.А. Антохин – SPIN 1459-3362.