

УДК: 623

DOI: 10.53816/20753608_2021_3_35

**НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К СРАВНЕНИЮ
НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ОБРАЗЦОВ ВООРУЖЕНИЯ,
ВОЕННОЙ И СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ**

**METHODICAL APPROACH OF THE COMPARATIVE EVALUATION
OF NEW TECHNICAL SOLUTIONS OF WEAPONS
AND MILITARY EQUIPMENTS AND TECHNOLOGIES**

По представлению чл.-корр. РАН С.И. Бокова

П.Г. Ларин

46 ЦНИИ МО РФ

P.G. Larin

В статье рассмотрен научно-методический подход к сравнению новых технических решений, направленный на снижение доли неопределенности в процессе принятия решений, которые могут обеспечить повышение тактико-технических характеристик образцов вооружения, военной и специальной техники в средне- и долгосрочной перспективах.

Ключевые слова: новые технические решения, технический уровень, сравнительная оценка, базовые и критические технологии.

The article discusses the methodological approach for the comparative evaluation of new technical solutions aimed at reducing the share of uncertainty in the decision-making process for choosing the most preferred technical solutions that can provide an increase in the tactical and technical characteristics of promising military vehicles samples in the medium and long term.

Keywords: new technical solutions, technical level, comparative assessment, basic and critical technologies.

Методы сравнительной оценки новых технических решений (далее — СОНТР) направлены на снижение доли неопределенности по выбору наиболее предпочтительных технических решений, которые могут обеспечить повышение тактико-технических характеристик перспективных образцов вооружения, военной и специальной техники (далее — ВВСТ) в среднесрочной и долгосрочной перспективах. Кроме этого, методический подход СОНТР является основой для формирования базовых и критических технологий, а также при разработке перспектив развития ВВСТ.

Для сравнения новых технических решений (далее — НТР) разработано множество форма-

лизованных методов, которые можно объединить по двум группам.

Первая группа методов обеспечивает сравнение НТР, имеющих количественные выражения значения свойств, и, как правило, основаны на определении показателя технического уровня с использованием мультипликативной или аддитивной свертки единичных показателей и их весовых коэффициентов.

Вторая группа методов предполагает сравнение НТР, не имеющих количественных выражений значений свойств (характеристик). Данные методы, как правило, основаны на экспертном сравнении новых технических решений.

Методы первой группы нашли применение в обосновании перспектив развития ВВСТ на среднесрочную перспективу, когда вторая группа методов обеспечивает снижение доли неопределенности в долгосрочной перспективе [4–7].

Предлагаемый в данной статье методический подход СОНТР позволил сформировать перечень базовых и критических технологий в части ВВСТ, а также определить основные направления развития ВВСТ на средне- и долгосрочную перспективу.

Основой предлагаемого методического подхода СОНТР являются:

1. Метод, входящий в первую группу, базирующийся на определении показателя технического уровня НТР с известными количественными значениями характеристик;

2. Метод, входящий во вторую группу, основанный на использовании нечеткого отношения предпочтений для определения недоминируемых альтернатив из множества НТР.

В обобщенном виде алгоритмы обоих методов включают пять последовательных этапов. При этом первых три этапа являются идентичными для обоих методов и включают:

1. Сбор и подготовку исходных данных по НТР и их распределение по однородным группам (силовые установки, трансмиссия, подвеска и др.);

2. Проведение двухэтапного экспертного опроса:

– формирование перечня свойств, характеризующих НТР;

– ранжирование сформированного перечня свойств по степени убывания значимости;

3. Определение значимости свойств каждой однородной группы.

Первые два этапа можно отнести к подготовительным, целью которых является получение ранжированного по значимости списка свойств НТР.

Для определения значимости (весомости) сформированных свойств предлагается использовать зависимость [1]

$$\omega_i = \log_{n+1} \left(1 + \frac{1}{r_i} \right), \quad i = 1, n, \quad (1)$$

где ω_i — значимость (весомость) i -го свойства;

r_i — ранг i -го свойства;

n — количество свойств, для которых определяется значимость.

Предлагаемая зависимость (1) имеет высокую сходимость с результатами, полученными методом Саати по матрице суждений [2], но при этом значительно снижает время проведения расчетов и позволяет экспертам оперировать большим количеством сравниваемых свойств.

Для первого метода СОНТР четвертый и пятый этапы включают:

– нормирование значений свойств (характеристик) альтернативных НТР;

– определение показателя технического уровня для альтернативных НТР аддитивным или мультипликативным методом.

Нормирование значений свойств (характеристик) производится на интервале от 0 до 1 для значений, подчиняющихся правилу: чем больше, тем лучше

$$v_i^H = \frac{(v_i - v_i^{\min})}{(v_i^{\max} - v_i^{\min})}, \quad i = 1, m, \quad (2)$$

для значений, подчиняющихся правилу: чем меньше, тем лучше

$$v_i^H = 1 - \frac{(v_i - v_i^{\min})}{(v_i^{\max} - v_i^{\min})} = \frac{(v_i^{\max} - v_i)}{(v_i^{\max} - v_i^{\min})}, \quad i = 1, m, \quad (3)$$

где v_i^H — нормированное значение i -го свойства;

v_i — значение i -го свойства;

v_i^{\max} — максимальное значение i -го свойства рассматриваемых альтернатив;

v_i^{\min} — минимальное значение i -го свойства рассматриваемых альтернатив;

m — количество НТР.

На пятом этапе аддитивным или мультипликативным методом определяется показатель технического совершенства НТР. Разница методов заключается в следующем:

– аддитивный метод представляет собой сумму нормированных значений векторов свойств, имеющих собственный масштаб, пропорциональный значимости свойства. В аддитивном методе значимость свойства определяет линейный масштаб относительно других свойств, т.е. единичный вектор с более высокой значимостью имеет большую абсолютную длину по отношению к единичному вектору, имеющему меньшую значимость. Показатель технического уровня (ПТУ_а) определяется по формуле

$$\text{ПТУ}_a = \sum_{i=1}^m \omega_i v_i^H; \quad (4)$$

– мультипликативный метод представляет собой произведение нормированных значений векторов свойств, возведенных в степень, соответствующую значимости свойства. В мультипликативном методе значимость свойства определяет степень влияния свойства на интегральный показатель технического уровня, т.е. чем выше значимость свойства, тем в большей степени он влияет на показатель технического уровня, когда низкая значимость свойства (характеристики) практически не оказывает влияния на итоговый результат. Показатель технического уровня (ПТУ_m) определяется по формуле

$$\text{ПТУ}_m = \prod_{i=1}^m (v_i^n)^{\omega_i} . \quad (5)$$

Сравнение базового и альтернативного НТР осуществляется методом приведения значений показателей технического совершенства к значению базового НТР

$$\begin{aligned} \text{ПТУ}'_{\text{атр}} &= \frac{\text{ПТС}_{\text{атр}}}{\text{ПТС}_{\text{бтр}}}, \\ \text{ПТУ}'_{\text{бтр}} &= 1. \end{aligned} \quad (6)$$

Для четвертого и пятого этапов второго метода СОНТР предлагается использовать многокритериальный выбор рационального НТР на основе отношения предпочтений, который состоит из:

- определения предпочтений между НТР внутри однородной группы по каждому свойству;
- определения рационального НТР в каждой однородной группе, имеющего максимальную степень недоминируемости.

В рамках четвертого этапа задачи лицо, принимающее решение, или специалист формирует матрицы отношений предпочтений между альтернативными НТР по каждому из свойств, полученных на предыдущих этапах.

Алгоритм формирования исходных матриц отношений предпочтений между альтернативами состоит из двух шагов:

Шаг 1. Формирование для каждого свойства правил упорядочивания предпочтений между альтернативными техническими решениями.

Формирование правил предпочтений для каждого свойства включает следующие процедуры:

1) для каждого i -го свойства выбирается наиболее предпочтительная альтернатива (например: x_2);

2) просматриваются оставшиеся альтернативы по i -му свойству с целью определения равноценного отношения, и, при нахождении такового, применяется правило равноценности отношений (например: $x_2 \approx x_5$). Данная процедура применяется до тех пор, пока на множестве альтернатив существуют равноценные;

3) из оставшихся альтернатив по i -му свойству выбирается наиболее предпочтительная альтернатива (например: x_3). Далее к ранее определенному правилу ($x_2 \approx x_5$) и выбранной альтернативой применяется отношение строгого предпочтения ($x_2 \approx x_5 > x_3$);

4) процедуры 2)–3) повторяются до тех пор, пока не будут сформированы правила предпочтений для всех альтернатив по выбранному i -му свойству.

Например, для пяти альтернатив может быть сформировано следующее правило: $x_2 \approx x_5 > x_3 > x_1 \approx x_4$, которое говорит, что равноценные альтернативы 2 и 5 предпочтительней чем альтернатива 3, которая предпочтительней равноценных альтернатив 1 и 4.

Шаг 2. Формирование исходных матриц отношений для каждого свойства по полученным правилам.

Для каждого свойства создается исходная единичная матрица E^n , где n — количество альтернативных технических решений.

Используя сформированные правила предпочтений и соотношение

$$\mu_{ij}(x_i, x_j) = \begin{cases} 1, & \text{если } x_i > x_j \text{ или } x_i \approx x_j; \\ 0, & \text{если } x_i < x_j, \end{cases} \quad (7)$$

получим матрицу отношений.

Определение рационального НТР в каждой однородной группе, имеющего максимальную степень недоминируемости, производится по следующему алгоритму.

Строим нечеткое отношение Q_1 (пересечение исходных отношений)

$$\mu_{Q_1}(x, y) = \min(\mu_1(x, y), \dots, \mu_m(x, y)), \quad (8)$$

и определяем нечеткое подмножество недоминируемых альтернатив в множестве (X, μ_{Q_1})

$$\mu_{Q_1}^{\text{НД}}(x) = 1 - \sup_{y \in X} (\mu_{Q_1}(y, x) - \mu_{Q_1}(x, y)). \quad (9)$$

Строим нечеткое отношение Q_2

$$\mu_{Q_2}(x, y) = \sum_{j=1}^m \omega_j \mu_j(x, y), \quad (10)$$

и определяем нечеткое подмножество недоминированных альтернатив в множестве (X, μ_{Q_2})

$$\mu_{Q_2}^{\text{НД}}(x) = 1 - \sup_{y \in X} (\mu_{Q_2}(y, x) - \mu_{Q_2}(x, y)). \quad (11)$$

Данная функция упорядочивает альтернативы по степени их недоминируемости.

Находим пересечение множеств $\mu_{Q_1}^{\text{НД}}$ и $\mu_{Q_2}^{\text{НД}}$

$$\mu^{\text{НД}}(x) = \min(\mu_{Q_1}^{\text{НД}}(x), \mu_{Q_2}^{\text{НД}}(x)). \quad (12)$$

Рациональным считаем выбор альтернатив из множества

$$X^{\text{НД}} = \left\{ x \mid x \in X, \mu^{\text{НД}}(x) = \sup_{x' \in X} \mu^{\text{НД}}(x') \right\}. \quad (13)$$

Наиболее рациональным следует считать выбор альтернативы x из множества X , имеющей максимальную степень недоминируемости [3].

В качестве примера применения второго метода СОНТР рассмотрим следующие технические решения группы энергетических установок (далее — ЭУ):

- классический дизельный двигатель внутреннего сгорания (ДВС) (x_1);
- бензиновый двигатель с циклом SPCCI (x_2);
- ДВС со встречным движением поршней и оппозитными цилиндрами (ОРОС) (x_3);
- многотопливный модуль-двигатель серии МД (x_4);
- гибридная установка на основе газовых микротурбин и генераторов вентильно-индукторного типа с самовозбуждением (x_5);
- свободнопоршневой электрогенератор для гибридных транспортных средств (x_6);
- электрохимический генератор (далее — ЭХГ), типа топливный элемент (x_7);
- ЭХГ, типа проточная жидкостная АКБ (x_8).

Значимость определенных и ранжированных экспертами свойств (характеристик) для ЭУ рассчитана по формуле (1), правила предпочтений определены по соотношению (7) и приведены в табл. 1.

В результате расчета (8)–(13) получены следующие значения степени недоминируемо-

Таблица 1

Значимость и правила предпочтений свойств ЭУ

Ранг, r_i	Свойство (характеристика), v_i	Значимость свойства, ω_i	Нечеткое правило отношения предпочтений, $\mu_{ij}(x_i, x_j)$
1	Масса ЭУ	0,26265	$x_5 \approx x_7 \approx x_8 > x_4 \approx x_6 > x_3 > x_2 > x_1$
2	Габаритные размеры ЭУ	0,15364	$x_5 > x_4 \approx x_6 > x_7 \approx x_8 > x_3 > x_2 > x_1$
3	Удельная мощность ЭУ	0,10901	$x_5 > x_4 \approx x_6 > x_7 \approx x_8 > x_3 > x_2 > x_1$
4	Механический КПД ЭУ	0,08455	$x_7 \approx x_8 > x_5 \approx x_6 > x_3 \approx x_4 > x_2 > x_1$
5	Удельный расход топлива при номинальной мощности ЭУ	0,06909	$x_7 \approx x_8 > x_5 \approx x_6 > x_3 \approx x_4 > x_2 > x_1$
6	Температурный диапазон работы ЭУ	0,05841	$x_5 > x_1 \approx x_3 \approx x_4 \approx x_6 \approx x_7 \approx x_8 \approx x_2$
7	Время подготовки ЭУ к принятию нагрузки при температуре минус 50 °С	0,05060	$x_5 > x_1 \approx x_3 \approx x_4 \approx x_6 \approx x_2 > x_7 > x_8$
8	Трудоемкость и частота обслуживания ЭУ	0,04463	$x_8 > x_5 \approx x_6 \approx x_7 > x_1 \approx x_3 \approx x_4 > x_2$
9	Ресурс ЭУ	0,03992	$x_8 > x_6 \approx x_7 > x_1 \approx x_2 \approx x_3 > x_4 > x_5$
10	Рабочий диапазон выдаваемой мощности ЭУ	0,03612	$x_1 \approx x_2 \approx x_3 > x_4 > x_7 \approx x_8 > x_5 \approx x_6$
11	Конструктивная сложность ЭУ	0,03297	$x_7 \approx x_8 > x_5 \approx x_6 > x_4 > x_1 > x_2 \approx x_3$
12	Многотопливность ЭУ	0,03033	$x_5 \approx x_6 > x_4 > x_1 \approx x_3 > x_7 \approx x_8 > x_2$
13	Экологические характеристики ЭУ	0,02808	$x_7 \approx x_8 > x_5 \approx x_6 > x_3 \approx x_4 > x_2 > x_1$

Результаты расчета недоминируемости альтернатив

Альтернатива (обозначение)	Оценка технического решения, $X^{ТД}$
Классический дизельный ДВС	0,152077557
Бензиновый двигатель с циклом SPCCI	0
ДВС со встречным движением поршней и оппозитными цилиндрами (ОРОС)	0,152077557
Многотопливный модуль-двигатель МД	0,305717686
Гибридная установка на основе газовых микротурбин и генераторов вентильно-индукторного типа с самовозбуждением	0,957618086
Свободнорпоршневой электрогенератор для гибридных транспортных средств (ТС)	0,523139958
Электрохимический генератор (ЭХГ), типа топливный элемент	0
ЭХГ типа проточная жидкостная АКБ	1

сти альтернатив группы ЭУ, которые приведены в табл. 2.

В долгосрочной перспективе на основе выполненного анализа и расчета наибольшую оценку технического решения имеет ЭХГ, типа проточная жидкостная АКБ равная 1, а также гибридная установка на основе газовых микротурбин и генераторов со значением 0,958.

Однако полученные данные сравнительной оценки НТР можно считать адекватными только при условии получения в перспективе положительных результатов в области развития электрохимических генераторов и источников хранения электроэнергии в ходе фундаментальных исследований.

Таким образом, предлагаемый научно-методический подход сравнения новых технических решений позволяет оценить альтернативные технические решения в условиях высокой неопределенности и обеспечивает обоснованное формирование перечня базовых и критических технологий.

Литература

1. Акимушкин А.В. Метод сравнительной оценки новых технических решений // Научно-технический сборник НИИЦ АТ 3 ЦНИИ МО РФ. — Бронницы. 2018. № 5. С. 50–59.

2. Методы принятия решений в задачах оценки качества и технического уровня сложных технических систем / С.С. Семенов, Е.М. Воронов, А.В. Полтавский, А.В. Крянев под ред. д-ра техн. наук, проф. Е.Я. Рубиновича. — М.: ЛЕНАНД. 2016. С. 208–218. ISBN 978-5-9710-2544-3.

3. Принятие решений на основе нечетких моделей: Примеры использования / А.Н. Борисов, О.А. Крумберг, И.П. Федоров. — Рига: Зинатне. 1990. С. 108–114. ISBN 5-7966-0459-7.

4. Демидов Б.А. Теория и методы военнотехнических исследований вооружения и военной техники. Учебник. — Харьков: ВИРТА ПВО им. Л.А. Говорова. 1990. 558 с.

5. Филин О.А. Основные аспекты модернизации образцов вооружения, военной и специальной техники как сложных технических систем / О.А. Филин // Молодой ученый. 2020. № 41 (331). С. 34–39.

6. Дворкин В.З. Об уровне технического совершенства образцов вооружения и военной техники // Известия российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2018. № 2 (102). С. 107–113.

7. Глазунов Ю.М., Аносов Р.С., Бывших Д.М. Методика обоснования рационального типажа перспективных образцов техники радиоэлектронной борьбы // Электронный журнал. Вооружение и экономика. 2019. № 1(47). С. 10–18.