
**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ
И ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ**

УДК 519.8

**ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ В МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ ЗАДАЧАХ
НА ЭТАПЕ ОБЛИКОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
АВИАЦИОННО-РАКЕТНОЙ ТЕХНИКИ¹**

© 2020 г. С. И. Голубев^{a,*}, В. В. Малышев^a, С. А. Пиявский^a, К. И. Сыпало^a

^a ЦАГИ, МАИ (национальный исследовательский университет), Москва, Россия

*e-mail: s-golubev@yandex.ru

Поступила в редакцию 14.08.2019 г.

После доработки 26.08.2019 г.

Принята к публикации 28.11.2019 г.

При создании новых изделий на этапе обlikового проектирования закладывается целый ряд основополагающих решений, которые в дальнейшем будут определять технические и экономические характеристики проекта. Поэтому очень важно, с одной стороны, сформировать, а с другой – оценить большое количество альтернатив, которые охватывают широкое пространство возможных инженерных решений. Оценка альтернатив производится лицом, принимающим решения, с точки зрения выполнения поставленных задач, ради которых создается новое изделие. Предлагается сравнение и анализ решения многокритериальной задачи принятия решения методом функции ценности, уступок, ELECTRE и уверенных суждений.

DOI: 10.31857/S0002338820020055

Введение. Создание авиационно-ракетной техники – это протяженный по времени и дорогостоящий процесс, который происходит в тесном сотрудничестве между заказчиком и производителем системы вооружения. Начальная фаза этого процесса, обlikовое проектирование, существенно влияет на новизну продукта, производительность, надежность, время разработки и стоимость.

Обlikовое проектирование – это стадия проектных разработок изделия, в процессе которой происходит выбор основных проектных параметров, отражающих схему, общий вид, структуру, принципы и устройства функционирования. При этом исследуются общие черты системы еще до ее реализации. В результате формируется техническое задание для разработчика системы и набор перспективных альтернативных вариантов изделия в рамках выбранной концепции [1]. Поэтому очень важно, с одной стороны, сформировать, а с другой – оценить большое количество альтернатив, которые охватывают широкое пространство возможных инженерных решений.

Оценка альтернатив и выбор облика изделия, который будет являться основой последующих этапов проектирования, является во многом определяющим моментом в процессе разработки систем военного назначения. Принятие неоптимальных решений на этом этапе будет иметь существенные последствия для затрат и сроков, так как проведение изменений или исправление исходной концепции облика становятся тем труднее, чем дальше находится проект в процессе создания нового изделия.

Принятие решения – это ситуация, при которой *лицо, принимающее решения* (ЛПР), имеет конечный набор возможных действий и должно выбрать оптимальное для заданной проблемы. Понятие оптимальности имеет смысл с точки зрения ЛПР, который, используя свои знания и опыт, вырабатывает суждения по поводу выбора курса действия из числа доступных или альтернативы из числа предложенных так, что в результате образуется наиболее приемлемый для ЛПР результат, который оценивается тем же ЛПР по выбранным критериям.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-08-00858 А, 09.02.2018).

Цель данной статьи – критический анализ некоторых средств и методов, которые являются полезным инструментом принятия решения по выбору наилучшего варианта облика *зенитной управляемой ракеты* (ЗУР) на этапе обlikового проектирования.

1. Постановка задачи. Для решения целевых задач $O = \{o_q\}$, $q = \overline{1, h}$, даны альтернативные варианты обликов $A = \{a_i\}$, $i = \overline{1, m}$. ЛПР оценивает результативность альтернатив по решению поставленных целевых задач o_q , получая и наблюдая скалярные *критерии* X_j , $j = \overline{1, n}$, которые имеют разную значимость для ЛПР и разные шкалы.

Конечный результат выполнения поставленных целевых задач альтернативами $A = \{a_i\}$, $i = \overline{1, m}$ ЛПР оценивает, имея некое правило свертывания критериев для получения счета (комплексный критерий), который тем больше, чем лучше результат по решению поставленных задач. Вместо правила свертывания критериев ЛПР может иметь некую ординальную или кардинальную функцию ценности $v(x_1^i, x_2^i, \dots, x_j^i, \dots, x_n^i) = v(a_i)$, которая также имеет большее значение для варианта облика, выполняющего поставленные задачи лучшим образом. Запись x_j^i обозначает конкретное значение критерия под номером j при использовании альтернативы a_i . Обратим внимание, что понятие “лучшим образом выполнить задачи” находят свое отражение в правиле свертывания критериев и/или в способе нахождения функции ценности. Значение комплексного критерия, являющегося результатом правила свертывания значений критериев $x_1^i, x_2^i, \dots, x_j^i, \dots, x_n^i$, также будем обозначать $v(a_i)$, поскольку в силу определения оно выступает значением нормативно заданной функцией ценности.

Для определенности рассуждений в рамках настоящей статьи будем считать, что множество A составлено из недоминированных альтернатив и отсутствует некая единственная альтернатива, которая лучше всех остальных по наблюдаемым X_j , $j = \overline{1, n}$, критериям (множество Парето). Для нахождения оптимальной альтернативы среди этого множества требуется привлечь дополнительную информацию.

Среди множества A требуется найти лучшую альтернативу и проранжировать остальные по предпочтительности для ЛПР для решения поставленных целевых задач. Наибольшее значение функции ценности соответствует альтернативе, дающей наилучшее решение поставленных задач, на множестве рассматриваемых альтернатив:

$$a_{opt} = \arg \max_{i=1, m} v(a_i); \quad (1.1)$$

$$\langle a_1, \dots, a_m \rangle. \quad (1.2)$$

Здесь знак $\langle \dots \rangle$ – упорядочивание альтернатив по предпочтительности для ЛПР для решения поставленных целевых задач.

2. Обзор методов решения многокритериальных задач, применимых на этапе обlikового проектирования. Для получения решения задачи принятия решения в виде (1.1)–(1.2) на этапе обlikового проектирования требуется привлечь дополнительную информацию. Выбор конкретного метода решения во много определяется качеством и объемом информации, доступной ЛПР.

Кратко рассмотрим возможности часто применяемых методов решения многокритериальных задач.

2.1. Метод функции ценности (МФЦ). Функция ценности дает числовую характеристику, определяющую степень пригодности взятого варианта конструкции с точки зрения ЛПР для выполнения задачи, в интересах которой решается задача принятия решения.

Сущность функции ценности определяется так: на множестве исследуемых проектных альтернатив A при выполнении пяти аксиом (измеримости; существования совершенного, рефлексивного и транзитивного отношения слабого предпочтения; суммирования силы предпочтения; разрешимости; аксиомы Архимеда) существует функция ценности, которая представляет собой измеримую характеристику $v(a_i)$, обладающую свойствами:

$$a_i \succ a_j \Leftrightarrow v(a_i) > v(a_j); \quad (2.1)$$

$$a_i a_k \succ a_j a_g \Leftrightarrow v(a_i) - v(a_k) > v(a_j) - v(a_g). \quad (2.2)$$

Свойство (2.1) позволяет проранжировать альтернативы по степени их предпочтительности для выполнения поставленных задач с точки зрения ЛПР, а свойство (2.2) – свойство измеримости функции ценности – дает возможности судить о том, на сколько сильно различается эта предпочтительность для разных альтернатив в зависимости от ранга в (1.2).

Удобной для построения формой функции ценности является аддитивная функция, в которой каждое слагаемое зависит только от одного критерия. Для этого потребуется ввести дополнительные условия, накладываемые на критерии принятия решения для соблюдения свойства их независимости по разности.

Помимо этого ЛПР должен иметь функции ценности $v_j(X_j)$ для каждого критерия X_j , которые описывают перевод значений критерия в значение ценности этого значения для ЛПР с точки зрения решения целевых задач $O = \{o_q\}$, $q = \overline{1, h}$. Значения критериев X_j для каждой из предложенных альтернатив характеризуют способность альтернативного варианта выполнять основную задачу, ради которой принимается решение выбора. С точки зрения ЛПР, влияние каждого критерия на оценку результативности выполнения целевых задач в общем случае будет разное. Для учета вклада каждого из критериев в решение поставленных задач необходима оценка масштабирующих коэффициентов. Эта оценка может быть произведена путем экспертного парного сравнения значимости характеристик, как предложено в методе анализа иерархий (МАИ) или методом “раскаченных весов” (swing weights) [2].

Метод парных сравнений на сегодняшний день является наиболее распространенным или, по крайней мере, наиболее часто упоминаемым в российской литературе. В [3] приводится классификация методов, где на первом месте стоит семейство способов получения весовых коэффициентов, использующих методику парного сравнения. В отдельную категорию выделяются методы, вычисляющие веса критериев на основе аналитических взаимосвязей важности критериев оценки альтернатив.

Третья категория методов – так называемые формальные методы. Часто встречающийся в иностранной литературе метод “раскаченных весов” относится к этой категории и является модификацией метода Черчмена–Акоффа.

2.2. Метод уступок. Этот метод, относящийся к прямым методам, требует большого количества сторонней информации и использует известные приоритеты критериев принятия решения. По методу уступок выбирается альтернатива с максимальным значением главного критерия (например, вероятность поражения) и определяется, что уменьшение вероятности поражения ракеты не может быть меньше некоторого значения. Среди выделенных таким образом альтернатив выбирается та, которая имеет максимум (или минимум, в зависимости от направления оптимизации) и происходит дальнейшее сужение рассматриваемых альтернатив назначением возможного отступа от выбранного оптимума по второму критерию. Таким же образом рассматривается третий, четвертый и так далее критерии, пока не останется единственная альтернатива. Эта альтернатива будет являться оптимальной в результате применения метода уступок.

Легко видеть, что таким образом мы получаем только оптимальную альтернативу. Упорядочивание остальных альтернатив не происходит. Для того чтобы получить следующую по предпочтительности для ЛПР альтернативу, требуется повторить процесс, описанный выше со всеми альтернативами кроме оптимальной, возможно, привлекая дополнительную информацию для назначения новых уступок по критериям.

2.3. Семейство методов ELECTRE. В процессе применения метода ELECTRE ЛПР исследует множество альтернатив, назначая индексы согласия и несогласия для гипотезы превосходства одной альтернативы над другой. После попарного сравнения всех альтернатив строится граф, в котором направленная дуга означает превосходство одной альтернативы над другой, а отсутствие дуги – несравнимость альтернатив при назначенных уровнях согласия/несогласия. Формулы реализации методов ELECTRE неоднократно рассмотрены в литературе и в настоящей статье для краткости они не приводятся.

Данные методы часто применяются для сужения множества Парето для получения обозримого количества альтернатив (например, двух), и далее, используя дополнительную информацию, находится оптимальное решение.

Хорошо известны слабые стороны семейства методов ELECTRE – это большая зависимость результатов от назначаемых индексов и шкал критериев.

2.4. Метод уверенных суждений. При выборе правила формирования комплексного критерия, весовых коэффициентов и назначении дополнительных индексов в процессе при-

менения методов решения многокритериальной задачи присутствует изрядная доля субъективизма, применение которого, конечно, является правом ЛПР. Исследователи процедур и методов принятия решения всякий раз подчеркивают этот факт и постоянно ищут методики снижения субъективности при выборе наилучшей альтернативы. Одним из таких методов является метод “уверенных суждений” [4].

Метод уверенных суждений основан не на стремлении устранить неопределенность выбором конкретного способа получения функции ценности ЛПР, а использовать для принятия решения непосредственно все множество способов учета неопределенности, которое при установленной структуре оценочной функции описывается всем множеством допустимых значений вектора весовых коэффициентов критериев. При этом в качестве структуры этой функции применяется свертка Ю.Б. Гермейера, поскольку показано [5], что в классе непрерывных оценочных функций свойством идентифицировать любые парето-оптимальные решения обладает лишь она и функция ценности для альтернатив из множества A будет иметь следующий вид:

$$v(a_i) = \min_{j=1,n} \alpha_j x_j^i, \quad \alpha_j \geq 0; \quad \sum_j \alpha_j = 1.$$

Имея в виду, что ЛПР выбирает вариант с наибольшей ценностью, можно записать

$$a_{opt} = \arg \max_A \min_{j=1,n} \alpha_j X_j.$$

Таким образом, множество разумных оценочных функций оказывается изоморфно множеству весовых коэффициентов S допустимых значений весовых коэффициентов:

$$S = \{\alpha_j \geq 0, j = \overline{1, n}, \max_{j=1,n} \alpha_j = 1\}.$$

В данном методе от ЛПР не требуется выбора структуры оценочной функции и единственного значения весовых коэффициентов $\alpha = \{\alpha_j\}$. Вместо этого ЛПР имеет возможность сформулировать лишь два вида суждений.

Уверенное суждение первого типа. При своей уверенности ЛПР может отнести различные частные критерии к различным группам важности. Например, “критерии 1 и 4 наиболее важны, критерии 2 и 6 просто важны, а критерий 5 имеет наименьшую важность”. Подчеркнем, что не предполагается, что ЛПР дает количественную оценку степени сравнительной важности частных критериев, речь идет лишь об их качественном сравнении, притом необязательном.

Уверенное суждение второго типа. При желании ЛПР может сконструировать пары парето-несравнимых векторов частных критериев, в отношении которых он уверен, что один из векторов “лучше” другого.

Эти суждения легко формулируются в виде ограничений на возможные значения весовых коэффициентов, сужающие множество S .

Указанных суждений ЛПР достаточно для того, чтобы метод уверенных суждений рассчитал для каждой альтернативы значения двух комплексных критериев рейтинга: жесткого и мягкого.

Процедура расчета проста. Жесткий рейтинг альтернативы есть доля весовых коэффициентов из всего их допустимого множества S , при которых эта альтернатива является наилучшей по сравнению с остальными альтернативами при их оценке по свертке Гермейера, использующей эти коэффициенты (по единой шкале). Мягкий рейтинг альтернативы есть среднее значение свертки Гермейера, использующей эти коэффициенты, на всем множестве допустимых коэффициентов S . Поясняющий пример приведен в табл. 1. В нем множество S содержит три элемента (три различных вектора весовых коэффициентов), при которых свертка Гермейера рассчитывает для четырех альтернатив. В столбце 5 показано, сколько раз альтернатива оказывается наилучшей среди остальных при различных элементах множества S ; на этой основе для альтернатив рассчитано значение жесткого рейтинга (столбец 6). Значение мягкого рейтинга (столбец 7) – это среднее из значений свертки Гермейера при всех элементах S (столбцы 2–4).

Преимуществом метода уверенных суждений является отсутствие парных сравнений (их заменяет естественная для ЛПР и нетрудоемкая процедура формулирования уверенных суждений первого и второго типов) и отсутствие субъективизма при установлении количественных показателей вроде порога уступок, индексов согласия и т.п.

Таблица 1. Пример метода уверенных суждений ЛПР

Альтернативы	Значения свертки Гермейера			Сколько раз альтернатива была лучшей	Жесткий рейтинг	Мягкий рейтинг
	элемент 1 из S					
1	2	3	4	5	6	7
a1	0.37	0.14	0.14	1	0.33	0.22
a2	0.34	0.6	0.81	0	0	0.58
a3	0.11	0.04	0.85	0	0	0.33
a4	0.25	0.35	0.9	2	0.67	0.5

Таблица 2. Значения критериев в задаче 1

Критерии оценки вариантов	R ₀	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅
W _ц	0.41	0.95	0.59	0.52	0.68	0.45
l _{пер} , м	11349	10982	10987	11152	10937	11614
m ₀ , кг	401	444	443	414	443.6	444.3

3. Пример принятия решения по выбору облика ЗУР. Рассматривается задача по выбору наилучшего проектного варианта ЗУР для решения двух целевых задач.

Целевая задача o₁. Перехват малозаметной, маловысотной маневрирующей цели, для которой характерно небольшое время самонаведения и высокие требования по быстродействию.

Целевая задача o₂. Перехват высотной маневрирующей цели, для которой заметно проявляется понижение маневренности ракеты вследствие уменьшения плотности воздуха.

Будем полагать, что поставленные целевые задачи могут быть выполнены различными ракетами с разным эффектом в зависимости от конкурентных преимуществ, которыми они обладают. Этим конкурентным преимуществам соответствуют следующие возможные альтернативные варианты обликов ракет {a_i}, i = 1, 6:

- 1) R₀ – некоторый базовый вариант ЗУР минимальной массы;
- 2) R₁ – альтернативный вариант ЗУР с двигателем поперечного управления;
- 3) R₂ – вариант проекта с увеличенной массой боевой части;
- 4) R₃ – ракета с увеличенной дальностью захвата цели головкой самонаведения;
- 5) R₄ – ракета с увеличенной дальностью захвата цели и увеличенной массой боевой части;
- 6) R₅ – ракета с увеличенной массой топлива.

Считается, что проектные параметры каждого облика оптимизированы для получения максимальной вероятности поражения цели для каждой из рассматриваемых задач.

Для оценки альтернативных вариантов выбраны три критерия:

вероятность поражения цели W_ц;

дальность перехвата l_{пер};

стартовая масса m₀.

Значения критериев как аргументов функции ценности получены моделированием перехвата цели каждым из вариантов ракеты для двух рассматриваемых целевых задач и сведены в табл. 2 и 3.

Будем полагать, что значимость критериев k_j не зависит от условий применения ракеты и они находятся методом парного сравнения. Полученные значения k_j приведены в табл. 4.

Таблица 3. Значения критериев в задаче 2

Критерии оценки вариантов	R ₀	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅
$W_{ц}$	0.50	0.97	0.67	0.49	0.63	0.45
$l_{пер}, м$	38597	37185	37160	38009	37014	40478
$m_0, кг$	401	444	443	414	443.6	444.3

Таблица 4. Коэффициенты значимости

Коэффициент значимости критерия	$W_{ц}$	$l_{пер}, м$	$m_0, кг$
k_j	0.73	0.19	0.08

Таблица 5. Значения ценности критериев

a_i	R ₀	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅
$v(a_i)$	0.722	0.290	0.224	0.184	0.163	0.155

Принятые критерии можно считать независимыми по разности, если:

- 1) ЛПР производит оценки предпочтительности альтернативных обликов ЗУР, различающихся по стартовой массе, не обращая внимание на вероятность поражения цели и наоборот;
- 2) ЛПР производит оценки предпочтительности альтернативных обликов ЗУР, различающихся по дальности поражения цели, не обращая внимание на вероятность поражения цели одной ракетой и наоборот.

3.1. Использование МФЦ. Для краткости мы опустим детали вычисления функции ценности обликов ЗУР на основе априорно заданных функций ценности $v_j(x_j)$ для каждого критерия X_j , которые описывают перевод значений критерия x_j в значение ценности этого значения для ЛПР, и приведем результирующий счет, сведенный в табл. 5.

Вариант R₁ превосходит все другие альтернативы. Заметим, что использование функции ценности вариантов обликового проектирования позволяет не только проранжировать предложенные альтернативы, но и определить степень превосходства одной ракеты над другой.

3.2. Использование метода уступок. Для применения метода уступок в качестве дополнительной информации предположим, что любая цель из задач 1 и 2 может быть обстреляна двумя ракетами, при этом результирующая вероятность поражения не должна быть ниже 0.9. Отметим, что необходимость субъективно задать эту величину (уступку) является отмеченным выше недостатком метода.

Таким образом, для оптимизации по второму критерию (дальность поражения) следует выбрать R₁ или R₄ в задаче 1 и R₁ или R₂ в задаче 2. С точки зрения дальности поражения вариант R₁ – более предпочтителен. И на этом задачу поиска оптимальной альтернативы можно считать решенной.

Полученные результаты в целом совпадают с решением по МФЦ. Однако альтернативы не упорядочиваются по своей предпочтительности для ЛПР для решения поставленных целевых задач. Еще одним недостатком полученного решения, характерным для большинства эвристических методов, является зависимость конечного результата от параметров метода, которыми пользуется ЛПР в процессе решения. Так, если при оптимизации по критерию номер два (дальность поражения) уступка даже 100 м является допустимой (что на больших расстояниях кажется весьма разумным предположением), то с формальной точки зрения для решения задачи 1 более предпочтительным является вариант R₄, а для решения задачи 2 – вариант R₂ как имеющий

Таблица 6. Результаты расчета с учетом большей важности целевой задачи 1

Вариант	$W_{ц}(ЦЗ1)$	$l_{пер}(ЦЗ1), м$	$m_0, кг$	$W_{ц}(ЦЗ2)$	$l_{пер}(ЦЗ2), м$	Мягкий рейтинг	Жесткий рейтинг
Min/Max	max	max	min	max	max		
Группы важности	3	3	1	2	2		
R_0	0.41	11349	401	0.5	38597	19.82	1.5
R_1	0.95	10982	444	0.97	37185	85.57	73.35
R_2	0.59	10987	443	0.67	37160	14.77	0
R_3	0.52	11152	414	0.49	38009	16.4	0
R_4	0.68	10937	443.6	0.63	37014	22.27	0
R_5	0.45	11614	444.3	0.45	40478	44.54	25.15

меньшую начальную массу. В этом случае метод не приводит к единому решению и требуется привлекать дополнительную информацию для выбора лучшей альтернативы между R_4 и R_2 .

3.3. Использование метода ELECTRE. В условиях рассмотренного примера воспользуемся методом ELECTRE, учитывающего различные веса критериев. При назначении индекса согласия 0.8 и индекса несогласия 0.2 в задаче 1 получили две альтернативы во множестве недоминированных альтернатив – R_1 и R_2 ; в задаче 2 решение одно – R_1 . При увеличении индекса согласия до 0.85 множество недоминированных альтернатив для решения задач 1 и 2 будет включать R_1 , R_3 , R_4 и R_5 .

Наилучшая альтернатива в методе функции ценности, уступок и ELECTRE совпадает – R_1 . При этом решение задачи упорядочивания остальных альтернатив происходит только в МФЦ. Отметим также большую зависимость получаемых результатов в методе ELECTRE от назначаемых индексов и шкал критериев.

3.4. Использование метода “уверенных суждений”. С учетом того, что рассматриваются две целевых задачи для применения ЗУР, положим, что целевая задача 1 (ЦЗ1) – перехват низколетящей цели является более важной по сравнению с целевой задачей 2 (ЦЗ2) – перехват высоколетящей цели. Эффективность альтернатив оценивается пятью критериями: $W_{ц}(ЦЗ1)$; $l_{пер}(ЦЗ1)$; m_0 ; $W_{ц}(ЦЗ2)$; $l_{пер}(ЦЗ2)$.

Критерии отнесены к следующим группам важности:

$W_{ц}(ЦЗ1)$ – третья группа важности,

$l_{пер}(ЦЗ1)$ – третья группа важности,

$W_{ц}(ЦЗ2)$ – вторая группа важности,

$l_{пер}(ЦЗ2)$ – вторая группа важности,

m_0 – первая группа важности.

Здесь более важной считается группа с более высоким номером.

Группы важности отражают большую важность перехвата низколетящей цели по сравнению с высоколетящей, а в рамках каждой задачи – большую важность выполнения целевой задачи по сравнению с экономическими и эксплуатационными соображениями, связанными с массой аппарата. Отметим, что задание групп важности как раз и является реализацией уверенного суждения ЛПР первого типа.

Результаты расчетов методом уверенных суждений приведены в табл. 6.

Как видно из табл. 6 и рис. 1, использование метода уверенных суждений подтвердило выбор R_1 в качестве наиболее рационального варианта. Следующим по эффективности является вариант R_5 , что не отвечает результату, полученному методом уступок. Чтобы выяснить причины выделения варианта R_5 как второго по предпочтительности, проведем исследование сравнительной эффективности вариантов в предположении одинаковой важности обеих целевых задач. Ре-

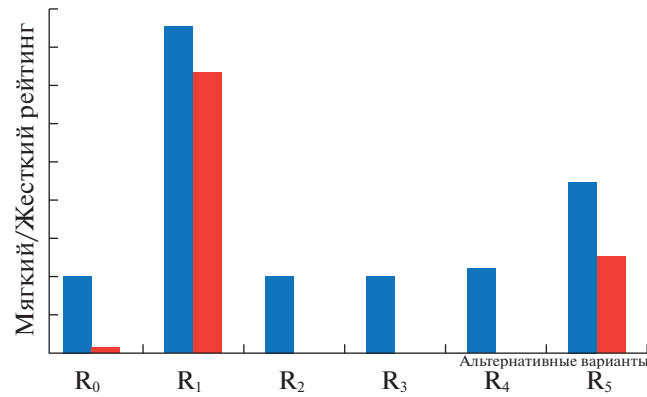


Рис. 1. Результаты расчета с учетом большей важности целевой задачи 1: ■ – мягкий рейтинг; ■ – жесткий рейтинг

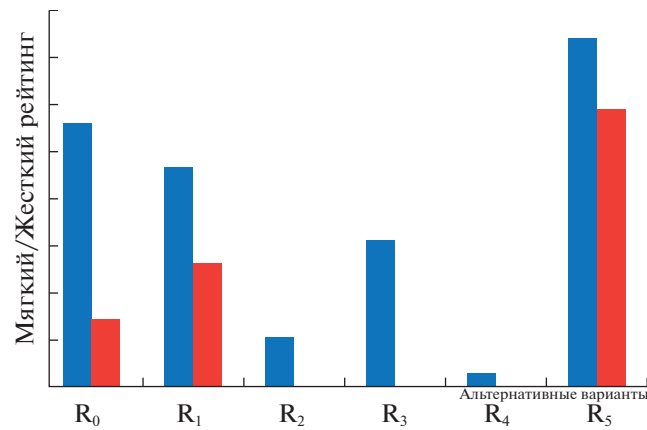


Рис. 2. Результаты расчета при одинаковой важности целевых задач 1 и 2: ■ – мягкий рейтинг; ■ – жесткий рейтинг

зультаты показаны в табл. 7 и на рис. 2. Видно, что в этих условиях наиболее предпочтительным оказался вариант R₅, а вариант R₁ по жесткому рейтингу – на втором месте, а по мягкому рейтингу даже несколько уступил варианту R₀.

Таблица 7. Результаты при одинаковой важности целевых задач 1 и 2

Вариант	$W_{II}(\text{ЦЗ1})$	$l_{\text{пер}}(\text{ЦЗ1}), \text{ м}$	$m_0, \text{ кг}$	$W_{II}(\text{ЦЗ2})$	$l_{\text{пер}}(\text{ЦЗ2}), \text{ м}$	Мягкий рейтинг	Жесткий рейтинг
Min/Max	max	max	min	max	max		
Группы важности	1	1	1	1	1		
R ₀	0.41	11349	401	0.5	38597	56.12	14.8
R ₁	0.95	10982	444	0.97	37185	46.95	26.25
R ₂	0.59	10987	443	0.67	37160	10.67	0
R ₃	0.52	11152	414	0.49	38009	31.19	0
R ₄	0.68	10937	443.6	0.63	37014	2.91	0
R ₅	0.45	11614	444.3	0.45	40478	74.18	58.95

Заключение. Результаты выбора оптимального решения могут оказаться различными при использовании разных методов принятия решения. Таким образом, перед ЛПР стоит задача – какой из методов следует предпочесть. Этот выбор зависит от полноты дополнительной информации для ЛПР, доступность мнения сторонних экспертов, а также опыта ЛПР и его понимания проблемы.

На наш взгляд, предпочтителен метод уверенных суждений, поскольку он не предполагает использования необязательных дополнительных допущений, в значительной мере субъективных.

Реализация метода уступок полностью основана на субъективных предпочтениях ЛПР, формирование которых, как было упомянуто выше, является правом ЛПР в процессе решения задачи. При этом назначение порогов в этом методе интуитивно понятно, а метод наиболее прост в реализации.

Применение метода ELECTRE сродни исследовательскому процессу по сужению множества альтернатив A . ЛПР, меняя индекс согласия и индекс несогласия, обозревает возможные подмножества $\{a_i\}$. Очевидно, что, делая индексы более “строгими”, исследователь отбрасывает какие-то особенности альтернатив в интересах получения единственного решения. В силу построения самого метода, ответ на вопрос, а чем именно пренебрегает ЛПР, отсутствует. Помимо этого процесс упорядочивания альтернатив представляет из себя итерационный процесс повторения процедуры метода с выбыванием лучшей получившейся альтернативы. Как следствие такое упорядочивание имеет ординальный характер, т.е. невозможно сказать, на сколько некоторая альтернатива хуже или лучше соседней.

При использовании метода функций ценности, в силу его аксиоматического характера, естественным образом формируется список допущений, которые сделал ЛПР по отношению взаимосвязи между критериями, при формировании функции ценности. После того как функция сформирована, метод может быть применим в системах автоматического принятия решений, поскольку при сформированной функции ценности он выдает кардинальный счет оценки альтернативы, как только становятся известны значения критериев вне зависимости от того была ли известна эта альтернатива на момент начала решения задачи или появилась только в процессе нахождения наилучшей альтернативы. Помимо этого, используя упомянутую кардинальность получаемой оценки альтернатив, если известна предполагаемая стоимость каждой альтернативы, то ЛПР их можно упорядочить также с точки зрения стоимости единицы ценности для выполнения поставленных целевых задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гранин В.Ю., Иноземцева Т.С., Погудина О.К., Сидоренко Т.А., Тарасов О.И. Формирование облика самолета в среде интегрированной системы автоматизированного проектирования // *Авиационно-космическая техника и технология*. 2010. № 2 (69). С. 47–54.
2. Von Winterfeldt D., Edwards W. *Decision Analysis and Behavioral Research*. N.Y.: Cambridge University Press, 1986. 604 p.
3. Постников В.М., Спиридонов С.Б. Методы выбора весовых коэффициентов локальных критериев // *Наука и образование (электрон. журн.)*. 2015. № 6. С. 267–287.
4. Малышев В.В., Пиявский С.А. Метод “уверенных суждений” при выборе многокритериальных решений // *Изв. АН. ТиСУ*. 2015. № 5. С. 90–101.
5. Пиявский С.А. Простой и универсальный метод принятия решений в пространстве критериев “стоимость – эффективность” // *Онтология проектирования*. 2014. № 3 (10). С. 89–102.