

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ С УЧЕТОМ ФАКТОРА ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

А. В. Вишнеков, Е. М. Иванова

Национальный исследовательский университет „Высшая школа экономики“,
123458, Москва, Россия

УДК 51-74

В статье рассматриваются вопросы применения методов поддержки принятия решений при администрировании и выполнении сложных проектов с учетом фактора импортозамещения. Приведена постановка задачи компоновки изделия с учетом фактора импортозамещения элементной базы. Показано, что эти задачи имеют сложный и многокритериальный характер. При этом лицо, принимающее решение (руководитель проекта, руководитель проектного подразделения, инженер-разработчик) может допустить ошибки при поиске наиболее рационального решения. При выполнении сложных дорогостоящих проектов цена этих ошибок велика и может поставить под вопрос успешность проекта с точки зрения дальнейшей сертификации изделия или получения статуса доверенного оборудования. В статье предлагается методика оценки и выбора вариантов компоновки изделия для различных исходных данных.

Ключевые слова: рациональное проектное решение, импортозамещение, задача принятия решения.

There are some questions of application of decision-making support methods at administration and implementation of difficult projects are considered in the article, taking into account an import substitution factor. The problem definition of configuration of a product is given taking into account a factor of import substitution of element base. It is shown that these tasks have difficult and multicriteria character. Thus the person making the decision (the project manager, the head of design division, the development engineer) can make mistakes by search of the most rational decision. At implementation of difficult expensive projects the price of these errors of bike can also complicate the project fulfillment from the point of view of further certification of a product or obtaining the status of the entrusted equipment. In the article the technique of a choice of configuration and execution of elements of a product for various cases of basic data is offered.

Key words: rational design decision, import substitution, problem of decision-making.

Введение. Современные условия диктуют необходимость тщательного отбора и проверки приобретаемых за рубежом комплектующих и, желательно, замены их на отечественные аналоги.

Такая задача стоит особенно остро в отраслях, производящих сложные изделия, состоящие из множества узлов, в частности, при разработке изделий электронно-вычислительной техники (ЭВТ). Для каждого изделия необходимо выявить элементы, исполнение которых может быть различным: а) элемент можно приобрести у отечественных производителей; б) элемент можно разработать и произвести на отечественных предприятиях; в) элемент требует закупки у сторонних зарубежных поставщиков.

В случаях а) и б) необходимо приобрести или разработать и произвести изделие, обладающее требуемыми функциональными и технико-эксплуатационными характеристиками с оценкой стоимостных и временных затрат.

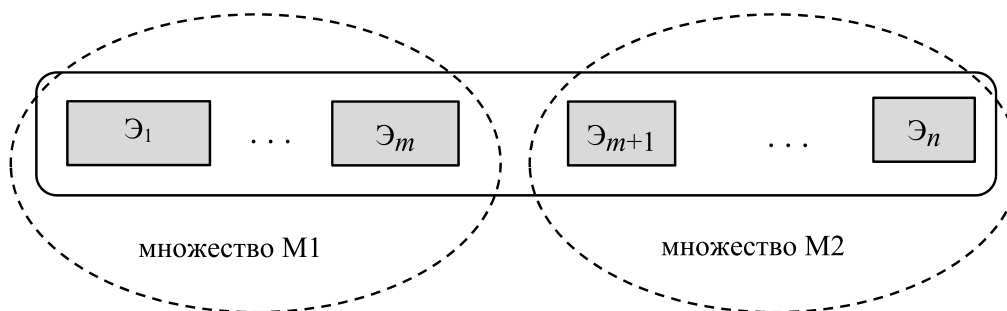


Рис. 1. Схематичное изображение изделия с учетом вариативности исполнения составляющих его элементов

В случае в) необходимо, кроме оценки функциональных и технико-эксплуатационных характеристик изделия, оценки стоимости закупки и времени поставки, выполнить следующее:

- проверить возможность полной разборки элемента и верификации его внутренней структуры;
- проверить безопасность его использования;
- оценить временные и стоимостные затраты на эти процедуры.

1. Постановка задачи. Задача комплектация изделия ЭВТ элементами с учетом фактора импортозамещения может быть отнесена к задачам принятия решений, а точнее, к задачам сравнения и оценки многокритериальных альтернатив [1].

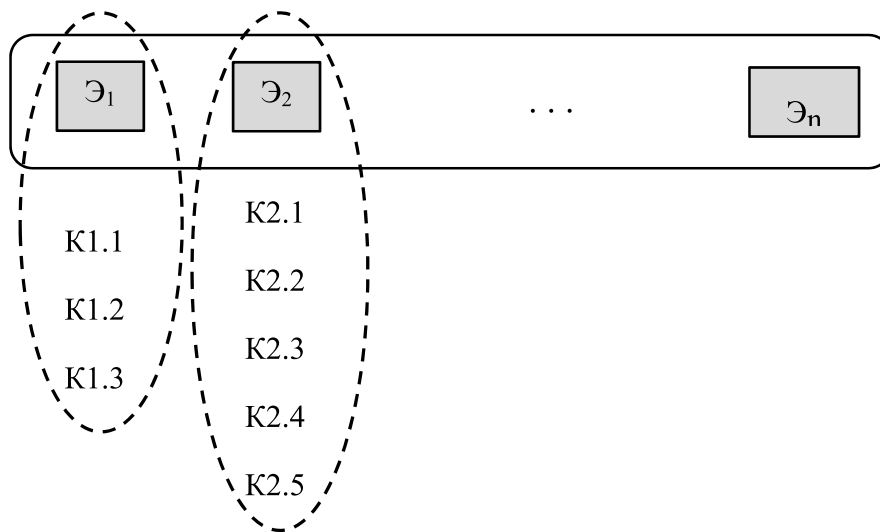
Постановка задачи принятия решения в этом случае может выглядеть следующим образом. Рассмотрим изделие, содержащее n элементов, m из которых относятся к множеству M1 элементов, для исполнения которых в общем случае может решаться задача выбора: покупать отечественный элемент, разрабатывать оригинальный элемент на отечественном предприятии или приобретать и верифицировать зарубежный аналог. Для остальных $(n - m)$ элементов (множество M2), такой возможности выбора не существует, т. е. для подобного элемента вариант исполнения может быть только один: например, только разработать или только приобрести за рубежом у единственного поставщика (см. рис. 1).

Требуется определить для заданного проектного решения наиболее рациональное сочетание вариантов исполнения элементов, относящихся к множеству M1, либо ранжировать альтернативные варианты по степени предпочтения. Подобный выбор или ранжирование должны проводиться с применением некоторого набора критериев оценки важности имеющихся альтернативных решений. Сформируем набор критериев, по которым будет производиться оценка альтернатив: а) стоимость (включая стоимость поставки, или стоимость разработки, или стоимость покупки и верификации), б) время поставки/разработки/покупки-верификации.

Набор функциональных критериев оценки изделия, например: а) производительность; б) разрядность; в) мощность; г) емкость.

Набор эксплуатационных критериев, например: а) надежность; б) габариты; в) гарантийный срок бесперебойной работы.

Количество критериев в наборе в общем случае может быть различным в зависимости от характеристик и назначения рассматриваемого изделия. Кроме того, аналогичные

Рис. 2. Наборы критериев оценки элементов из множества $\mathcal{M}_1$

критерии могут понадобиться для сравнения и выбора варианта исполнения отдельных элементов изделия из множества $\mathcal{M}_1$. Во втором случае критерии могут быть аналогичными или различаться для каждого элемента (см. рис. 2).

Выделим два типа задач принятия решения.

Задача 1. Все элементы множества $\mathcal{M}_1$ можно считать „независимыми“. Для таких элементов выбор исполнения (спроектировать / купить в РФ / купить за рубежом) не влияет на варианты исполнения других элементов.

Задача 2. В случае, когда выбор исполнения одного из элементов влечет ограничения на выбор исполнения другого/других элементов, рассматриваемые элементы „зависимы“.

С точки зрения постановки задачи принятия решения Задача 1 и Задача 2 отличаются способом формирования исходного множества альтернатив и некоторыми используемыми методами поддержки принятия решения. В Задаче 1 решение по выбору варианта исполнения принимается для каждого элемента отдельно. Исходное множество альтернатив составляется из всех возможных вариантов исполнения всех элементов множества $\mathcal{M}_1$. В Задаче 2 не требуется полного перебора вариантов исполнения каждого элемента. Только эксперты могут определить допустимые варианты сочетаний исполнения зависимых элементов множества $\mathcal{M}_1$, которые сформируют множество альтернативных решений Задачи 2.

Выбор конкретного метода поддержки принятия решений проводится на основе анализа особенностей решаемой задачи: использование численных или лингвистических критериев, число возможных альтернатив, число применяемых критериев оценки качества принимаемых решений, необходимость привлечения экспертов, возможные состояния „внешней среды“, необходимость выбора единственного наиболее рационального решения или ранжирования возможных решений по степени их предпочтительности.

Предположим, есть r_1 допустимых вариантов закупки отечественного элемента, отличающихся функциональными характеристиками, поставщиком, стоимостью, временем поставки (варианты такого исполнения элемента формируют множество R_1); r_2 вариантов разработки элемента в России, отличающихся эксплуатационными характеристиками.

ми (надежностью, гарантийным сроком), предприятием-разработчиком, стоимостью, сроками разработки (варианты такого исполнения элемента формируют множество R2), r_3 вариантов закупки элемента за рубежом с последующей его детальной проверкой, отличающихся фирмой-поставщиком, функциональными и эксплуатационными характеристиками, стоимостью, сроками поставки и сложностью проверки элемента (варианты такого исполнения элемента формируют множество R3).

Тогда общее число альтернатив выбора исполнения одного элемента составит $q^i = r_1^i + r_2^i + r_3^i$. Для всего изделия число альтернатив суммируется по каждому элементу из множества M1:

$$q = \sum_{i=1}^m q^i.$$

Если число альтернатив q велико, то для сокращения числа альтернатив может быть дополнительно задан ряд стоимостных, временных, технико-эксплуатационных ограничений, сужающих число рассматриваемых вариантов исполнения изделия или конкретного элемента.

2. Методика решения Задачи 1. Для решения поставленной задачи необходимо задать (рассчитать) коэффициенты важности критериев оценки вариантов исполнения каждого элемента. Это можно сделать с помощью либо индивидуальных методов поддержки принятия решений, в частности, используя процедуру, предложенную в методе аналитических иерархий [2], либо в случае необходимости привлечения экспертов методом ранга или предпочтений [3], т. к. число критериев невелико и вероятность получения несогласованных экспертных оценок мала.

Метод аналитических иерархий может оказаться более предпочтительным, т. к. позволяет использовать сложные иерархии вложенных критериев (например, группы функциональных (K3–K6) или технико-эксплуатационных критериев (K7–K9)).

Число альтернативных вариантов решения вопроса для каждого элемента может варьироваться от единиц до нескольких десятков. Наиболее универсальным подходом в этом случае может быть метод перестановок. Данный метод позволяет решать задачи с достаточно большим числом альтернатив и малочувствителен к случайным ошибкам ЛПР, а также он легко поддается автоматизации. Это имеет большое значение, т. к. при возрастании числа рассматриваемых альтернатив сложность решения задачи данным методом резко возрастает.

Решение задачи для изделия в целом в случае „независимости“ рассматриваемых элементов, таким образом, сводится к решению совокупности задач принятия решения по каждому элементу. Решение задачи в этом случае может потребовать привлечения экспертов для оценки каждого из имеющихся альтернативных вариантов по выбранным критериям. Тогда целесообразно применение групповых методов принятия решений, в частности, метода минимального расстояния, предварительно сократив число рассматриваемых альтернатив до 10 и менее методом разложения вариантов на удовлетворительные и неудовлетворительные с учетом заданных в постановке задачи ограничений.

3. Методика решения Задачи 2. В случае, когда выбор действия по одному из элементов влечет ограничения на выбор действий по другому элементу (рассматриваемые элементы „зависимы“) особое внимание необходимо уделить генерации альтернатив. Эксперты формируют множество альтернатив путем определения совокупностей допустимых вариантов исполнения элементов множества M1. Тогда задача сводится к интегральной

оценке и сравнению предложенных экспертами альтернатив (совокупностей) по выбранным критериям.

Решение задачи в этом случае требует привлечения экспертов и, соответственно, применения групповых методов принятия решений для оценки и сравнения альтернативных вариантов по выбранным критериям. Число q совокупностей исполнения элементов, как правило, невелико (оно, как правило, равно числу экспертов).

Для решения Задачи 2, если число альтернативных вариантов $q \leq 10$, можно предложить использование метода минимального расстояния с помощью расчета медианы Кемени-Снелла, представляющей собой ранжировку альтернатив с минимальным суммарным расстоянием до всех экспертных ранжировок [4].

Если число рассматриваемых вариантов $q > 10$, целесообразно применение метода ранга, основанного на балльных экспертных оценках альтернатив, который не ограничивает число альтернатив при условии проверки экспертных оценок на согласованность.

4. Алгоритм решения задачи. Рассмотрим обобщенный алгоритм решения задачи принятия решения по выбору рационального варианта комплектации изделия (см. рис. 3).

Шаг 1. Формирование множества элементов $M1$.

Шаг 2. Определение класса задачи: Задача 1 (элементы независимы) или Задача 2 (элементы зависимы).

Шаг 3. Генерация альтернативных вариантов решения задачи.

Если решается Задача 1, то для каждого элемента, входящего в множество $M1$, производится генерация вариантов исполнения. То есть формируются множества $R1, R2, R3$ с общим числом элементов $q^i = r_1 + r_2 + r_3$.

Если решается Задача 2, то экспертами производится генерация совокупностей возможных сочетаний исполнения элементов.

Шаг 4. Формирование множества критериев оценки и сравнения альтернатив.

Если решается Задача 1, то для каждого элемента из множества $M1$ формируется множество критериев оценки и сравнения вариантов исполнения.

Если решается Задача 2, то формируется множество критериев оценки допустимых вариантов сочетаний исполнения элементов множества $M1$, которое во многом совпадает с множеством критериев оценки изделия в целом.

Шаг 5. Задание ограничений на значения критериев, позволяющих уменьшить число рассматриваемых вариантов.

Если решается Задача 1, то задаются ограничения на значения критериев оценки каждого элемента множества $M1$.

Если решается Задача 2, то задаются ограничения на значения критериев оценки изделия в целом.

Шаг 6. Производится расчет весов критериев, выбранных на Шаге 4 с помощью процедуры, используемой в методе аналитических иерархий, либо методом предпочтений или методом ранга, в случае необходимости привлечения экспертов.

Шаг 7. Выбор рационального варианта комплектации изделия.

Если решается Задача 1, то с помощью метода перестановок отдельно определяется рациональный вариант исполнения каждого элемента из множества $M1$. Для процедуры попарного сравнения альтернатив по каждому критерию может потребоваться привлечение экспертов. В этом случае наиболее целесообразно использовать метод ранга, так как число вариантов исполнения элементов (число $q^i = r_1 + r_2 + r_3$ элементов множеств $R1, R2, R3$) может быть очень большим ($q^i \geq 10$).

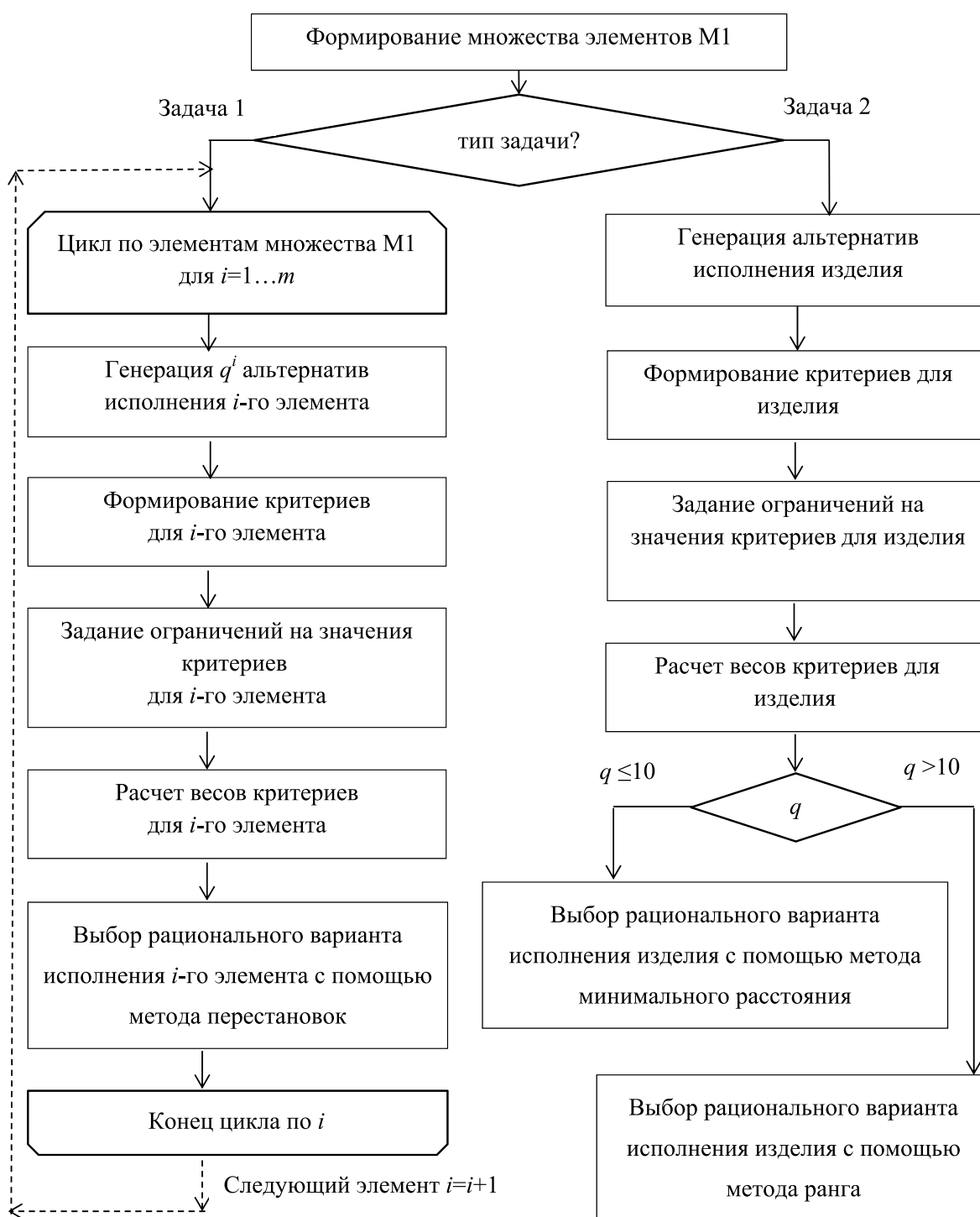
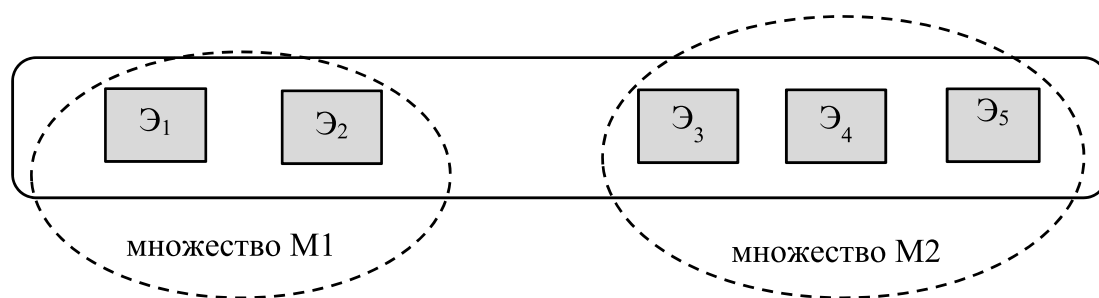


Рис. 3. Алгоритм решения задачи

Если решается Задача 2, то с помощью метода минимального расстояния выбирается наиболее рациональная совокупность вариантов исполнения элементов из множества $M1$, с помощью расчета медианы Кемени-Снелла, если число альтернативных вариантов $q \leq 10$. Если число рассматриваемых вариантов $q > 10$, целесообразно применение метода ранга.

Рис. 4. Схематическое изображение изделия ($n = 5$, $m = 2$)

5. Пример выбора рационального варианта комплектации изделия. Рассмотрим примеры применения методов поддержки принятия решений как для Задачи 1, так и для Задачи 2.

Согласно алгоритму (см. рис. 3), на первом шаге требуется сформировать множество $M1$ элементов с альтернативными вариантами исполнения. Пусть это будет изделие, состоящее из пяти элементов ($n = 5$), два из которых определены экспертами как относящиеся к множеству $M1$ ($m = 2$), см. рис. 4.

Далее, на втором шаге следует определить вид задачи. Рассмотрим оба варианта для наглядности.

Пример решения Задачи 1. В нашем случае во множестве $M1$ два элемента, поэтому цикл решения пройдет дважды. Первый цикл – выбор исполнения для элемента $\mathcal{E}_1$. Допустим, что на третьем шаге сформированы семь ($q^i = 7$) альтернативных решений (см. табл. 1).

Допустим, что на четвертом шаге экспертами сформированы 4 критерия сравнительной оценки альтернатив.

К1. Минимальная стоимость исполнения элемента.

К2. Минимальное время исполнения.

К3. Максимальная производительность.

К4. Максимальный гарантийный срок бесперебойной работы.

Для сокращения числа альтернатив на пятом шаге введены ограничения: время исполнения не более 6 месяцев, гарантийный срок не менее 3 лет. Тогда, согласно этим ограничениям, из списка альтернативных решений для исполнения элемента $\mathcal{E}_1$ могут быть вычеркнуты 4 альтернативы (см. табл. 1).

На шестом шаге рассчитываются веса критериев. Пример подобных расчетов можно найти в [2, 3]. Пусть, например, были получены следующие значения весов: $w_1 = 0,4$; $w_2 = 0,3$; $w_3 = 0,2$; $w_4 = 0,1$.

На седьмом шаге применяем метод перестановок для сравнения и ранжирования альтернатив по степени предпочтительности. Обозначим относительную ценность каждой альтернативы по каждому из четырех имеющихся критериев одним из трех способов: лучше (1), хуже (–1), равнозначна (0). Для наглядности полученные оценки сведем в таблицы (см. табл. 2–5), где в ячейке строки i и столбца j отмечено, является ли альтернатива A_i предпочтительнее A_j по рассматриваемому критерию (1), или наоборот хуже A_j (–1), или равноценна (0).

Таблица 1

Сравнительная оценка альтернатив

Оценки по критериям	Альтернативы						
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
K1. Стоимость (у. е.)	7	6	4	5	5	6	3
K2. (≤ 6) Время (мес.)	4	6	7	5	5	5	8
K3. Производительность (TFLOPS)	1	2,5	2,5	1,8	3	2	1
K4 (≥ 3). Гарантийный срок (лет)	2	4	1	3	2	4	1

Таблица 2

Относительная ценность альтернатив по критерию K1

	A2	A4	A6
A2	0	-1	0
A4	1	0	1
A6	0	-1	0

Таблица 3

Относительная ценность альтернатив по критерию K2

	A2	A4	A6
A2	0	-1	-1
A4	1	0	0
A6	1	0	0

Таблица 4

Относительная ценность альтернатив по критерию K3

	A2	A4	A6
A2	0	1	1
A4	-1	0	-1
A6	-1	1	0

Просуммируем веса критериев, при которых альтернатива A_i предпочтительнее A_j (S_{ij}), и отдельно веса критериев, при которых альтернатива A_j предпочтительнее A_i (S_{ji}).

Таблица 5

Относительная ценность альтернатив по критерию K4

	A2	A4	A6
A2	0	1	0
A4	-1	0	-1
A6	0	1	0

Далее вычисляем разность этих сумм $\Delta_{ij} = S_{ij} - S_{ji}$. Сложив получившиеся значения для каждой альтернативы, можно рассчитать ценность каждой альтернативы

Таблица 6

Расчеты по методу перестановок

i	S_{ij}			Δ_{ij}			U_{Ai}
	$j = 2$	$j = 4$	$j = 6$	$j = 2$	$j = 4$	$j = 6$	
2	0	0,3	0,2	0	-0,4	-0,1	-0,5
4	0,7	0	0,4	0,4	0	0,1	0,5
6	0,3	0,3	0	0,1	-0,1	0	0

Таблица 7

Параметры альтернативных вариантов компоновок изделия

Оценки по критериям	Альтернативы			
	A1	A2	A3	A4
K1. Стоимость (у. е.)	280	600	360	500
K2. Время (мес.)	40	25	24	31
K3. Надежность (мес.)	24	30	24	30

$(U_{Ai} = \sum_{j=1}^4 \Delta_{ij})$, а затем выбрать наилучшую по максимальной ценности. Дальнейшие расчеты также удобно свести в таблицу (см. табл. 6).

Согласно выбранным критериям и их весам, предпочтительной является альтернатива A4. Это и будет выбор исполнения элемента $\mathcal{E}_1$ для Задачи 1. Аналогичные расчеты легко можно провести для элемента $\mathcal{E}_2$.

Пример решения Задачи 2. Допустим, что на третьем и четвертом шаге сформированы четыре ($q = 4$) альтернативных решения компоновки изделия (см. табл. 7) и сформированы 3 критерия сравнительной оценки альтернатив:

K1. Минимальная стоимость изделия.

K2. Минимальное время исполнения.

K3. Максимальная надежность.

Однако никаких дополнительных ограничений не вводилось.

На шестом шаге рассчитываются веса критериев. Допустим, что были получены следующие значения весов: $w_1 = 0,4$; $w_2 = 0,2$; $w_3 = 0,4$.

Рассмотрим пример ранжирования четырех альтернативных компоновок изделия тремя экспертами с помощью метода минимального расстояния. Каждым экспертом выстраивается свое ранжирование альтернатив по критериям K1÷K3:

Эксперт1=<A1, A3, A4, A2>,

Эксперт2=<A3, A2, A4, A1>,

Эксперт3=<A4, A2, A1, A3>.

Затем строятся матрицы Y попарного сравнения альтернатив (см. рис. 5) по мнению каждого эксперта, в которых элемент имеет то же значение, что и в методе перестановок: лучше (1), хуже (-1), равнозначна (0).

Далее требуется, учитывая все мнения экспертов, вычислить новую итоговую матрицу рангов Y , равноудаленную от всех трех матриц. Для новой матрицы Y будет справедливым утверждение, что величина суммы модулей разностей ее элементов и элементов любой из матриц Y^1 , Y^2 , Y^3 должна быть минимальной.

$$\mathbf{Y}^1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & 0 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 0 \end{pmatrix}; \quad \mathbf{Y}^2 = \begin{pmatrix} 0 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 0 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 0 \end{pmatrix}; \quad \mathbf{Y}^3 = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 0 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & 0 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

Рис. 5. Матрицы попарного сравнения альтернатив

Вычисление такой новой матрицы происходит методом перебора всех существующих матриц с нулевой главной диагональю и кососимметричных относительно нее же (значение „1“ выше диагонали симметрично значению „–1“ ниже диагонали и наоборот). Такой перебор удобнее всего выполнить программно. По новой рассчитанной матрице $\mathbf{Y}$ строится новое ранжирование для приведенных альтернатив по степени предпочтительности. Согласно исходным данным, список альтернативных решений при уменьшении предпочтения будет следующим (А3, А4, А2, А1), а наиболее предпочтительной является альтернатива А3.

Заключение. В распоряжении руководителя проекта (при администрировании проекта) и исполнителей (при принятии проектных решений) должны быть средства, помогающие принимать наиболее рациональные решения. Необходимость подобных средств продиктована сложностью решаемых задач, их многоальтернативностью и многокритериальностью. Одним из наиболее эффективных средств является применение методов поддержки принятия решений.

Предлагаемая методика выбора вариантов комплектации изделия ЭВТ позволит также повысить эффективность принятия решений, т. к. предлагаемые методы используют только „допустимые“ процедуры принятия решений по результатам психологических исследований [5]. Это тем более важно, что инженеры и конструкторы изделия ЭВТ могут не являться специалистами по принятию решений. Также используемые методы и процедуры легко поддаются автоматизации, и на основе предлагаемой методики может быть разработано программное обеспечение для поддержки принятия решения по комплектации изделия ЭВТ с учетом фактора импортозамещения.

Использование методов поддержки принятия решений позволит не только повысить качество и эффективность принимаемых решений, но и автоматизировать процесс принятия административных и проектных решений.

Список литературы

1. ЛАРИЧЕВ О. И. Теория и методы принятия решений. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Логос, 2002.
2. ИВАНОВА Е. М., ВИШНЕКОВ А. В. Сравнительная оценка вычислительных систем по критериям пользователя // Качество. Инновации. Образование. 2013. № 4. С. 63–68.
3. ИВАНОВА Е. М., ВИШНЕКОВ А. В., ЕРОХИН В. В. Автоматизация процедуры выбора микроконтроллера // Нано- и микросистемная техника. 2014. № 7. С. 14–21.
4. КЕМЕНИ ДЖ., СНЕЛЛ ДЖ. Кибернетическое моделирование: Пер. с англ. М.: Советское радио, 1972.

5. ЛАРИЧЕВ О. И., БАЙЧЕНКО В. С. и др. Проблемы выявления альтернатив и двоичных оценок на шкалах критериев // Многокритериальный выбор при решении слабоструктурированных проблем: Тр. ВНИИСИ. 1978. № 5. С. 61–77.

*Вишнеков Андрей Владленович — проф., д-р технич. наук,
академический руководитель магистерских программ
по направлению „Информатика и вычислительная техника“
Московского ин-та электроники и математики
Национального исследовательского университета
„Высшая школа экономики“;
тел. +7 (495) 772-95-90 *15114, 8-905-722-79-96,
e-mail: avishnekov@hse.ru*

*Иванова Елена Михайловна — доцент, канд. технич. наук,
доцент Департамента компьютерной инженерии
Московского ин-та электроники и математики
Национального исследовательского университета
„Высшая школа экономики“;
тел. +7 (495) 772-95-90 *15114, 8-916-980-11-46,
e-mail: emivanova@hse.ru*

Дата поступления — 29.10.2015