

Ю. В. Кривоуцкий

*Доктор экономических наук, профессор,
105yvk501@mail.ru*

*Кафедра «Менеджмент и маркетинг
высокотехнологичных отраслей промышленности»,
Московский авиационный институт
(Национальный исследовательский университет),
Москва, Российская Федерация*

Выбор стратегии реализации нового проекта с учетом вариативности возможных технико-экономических и организационных решений

***Аннотация:** Разработка обоснованных и эффективных управленческих решений как задача оптимального выбора параметров некоторой системы и их реализация в значительной мере сказываются на достижении конечных целей предприятия и во многом определяют его успех в конкурентной борьбе. В статье содержится изложение теоретического материала и практических примеров разработки управленческих решений в деятельности руководителя предприятия, рассматриваются модели и методы принятия решений в условиях многокритериальности.*

***Ключевые слова:** принятие решений, область стратегий, частные критерии, экспертный анализ, глобальный критерий.*

Yu. V. Krivolutsky

*Dr. Sci. (Econ.), Prof.,
105yvk501@mail.ru*

*Department of High-tech industries management and marketing,
Moscow aviation institute (National research university),
Moscow, Russian Federation*

A choice of realization strategy of the new project based on variables of possible technical, economic and organizational solutions

***Annnotation:** Development of feasible and effective management decisions as a task of optimal choice of some system parameters and their following realization influences significantly the main goals of the companies and defines its success in a competition. The article contains the statement of theoretical material and practical examples of the development of management decisions, models and methods are exploited in a multicriterial environment.*

Keywords: *decision making, strategies domain, particular criteria, expert analysis, global criterion.*

С ростом сложности проектов, их стоимости, длительности разработки и вариативности возможной реализации технико-экономических и организационных решений, возрастает сложность принятия оптимальных решений на всех этапах выполнения проектов. При проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ разработчикам проектов новой техники часто приходится сталкиваться с решением многокритериальных задач. Это касается тех случаев, когда цель проекта может быть выражена несколькими критериями, причем одни из них нужно максимизировать (например, качество), а другие минимизировать (например, стоимость). Сложность решения таких задач состоит в том, что критерии, в большинстве случаев, оказываются противоречивыми: улучшение одного из них сопровождается ухудшением другого. Например, при проектировании нового вертолета расширение количества выполняемых им функций ведет к повышению его конкурентоспособности, но одновременно растет его стоимость. Разработка оригинальных конструкторских решений, новейших материалов, компьютерных технологий, видов и методов испытаний и т.п. повышает коммерческий потенциал новой техники, но одновременно ведет к резкому повышению длительности её создания. Поэтому решение, обращающее в максимум один критерий, обычно не обращает ни в максимум, ни в минимум другие частные критерии.

Обычно имеется несколько стратегий, т.е. вариантов решения проблемы, которые отличаются друг от друга по одному или нескольким частным критериям. Допустимое число стратегий устанавливается отсечением заведомо неприемлемых по тем или иным соображениям вариантов. Множество таких вариантов составляет так называемую *область стратегий*, в которой находится решение [1, 2, 5]. При наличии существенно разнохарактерных частных критериев обычно бывает достаточно сложно установить их предпочтительность. Для этого обычно используют экспертный анализ. В случаях наличия лишь двух или трех критериев множество достижимых векторных оценок можно изобразить графически, а затем выделить из них максимально эффективные. При решении задач выбора одного из нескольких вариантов конкурирующих между собой новых проектов часто используется критерий «*стоимость — эффективность*». Например, требуется выбрать наиболее эф-

фективный вариант разработки нового или модернизации уже имеющегося вертолета из нескольких предложенных проектов. В качестве критериев можно выбрать: стоимость разработки проекта и прибыль от эксплуатации вертолета или его эффективность.

Из предложенных вариантов некоторые могут выглядеть предпочтительнее, чем другие. Окончательный выбор одного варианта производится эвристически лицом, принимающим решение на основе анализа, который покажет, какой ценой достигается повышение эффективности при замене одного варианта на другой. В некоторых случаях используется критерий «*стоимость — эффективность — время*».

Принципиальная сложность задач выбора при многих критериях заключается в невозможности априорного определения того, что называть наилучшим решением. В многокритериальной задаче невозможно найти решение, дающее экстремум сразу по всем критериям. В связи с этим во многих математических методах многокритериальная задача принятия решений так или иначе сводится к однокритериальной.

При решении многокритериальных задач используют мнения экспертов для оценки относительной значимости (приоритетности) каждого критерия и его влияния на характеристики рассматриваемого варианта решения.

Рассмотрим один из методов решения многокритериальных задач, а именно, метод глобального критерия, поскольку он позволяет выбрать оптимальный вариант решения, учитывая параметры всех предлагаемых для данной задачи показателей. При этом сравнительная оценка вариантов может происходить как при отсутствии каких-либо требований на показатели оцениваемой системы, так и при наличии таких требований. Следует отметить, что решения, принимаемые на уровне отдельных частей системы, должны исходить из интересов всей системы [3]. Эти взаимосвязи между элементами системы должны быть учтены при выборе критерия, при составлении математической модели и на всех этапах принятия решения. При этом важно учитывать ограничения на ресурсы по частным оценочным показателям [4, 6, 7].

Так как все критерии имеют разные единицы измерения, то возникает вопрос, как их сравнивать? Например, сметная стоимость разработки и время разработки. Для этого выразим значения выбранных критериев в относительных единицах:

$$Q = Q_{\text{абс}} / Q_{\text{уст}}, \quad (1)$$

где Q — нормализованное значение критерия, безразмерная величина;

$Q_{\text{абс}}$ — значение критерия в абсолютных единицах измерения;

$Q_{\text{уст}}$ — некоторое заранее установленное значение этого критерия.

От того, какое значение мы выберем для $Q_{\text{уст}}$, будет зависеть величина критерия после его нормализации, что, в дальнейшем, может сказаться на результатах решения. Если в задаче заранее оговорены величины основных параметров, которые можно принять как директивные, например, максимальная величина перевозимого груза, максимальная скорость полета, сметная стоимость разработки, директивное время разработки и т. д., и если они выбраны как критерии оптимизации, то их можно принять в качестве $Q_{\text{уст}}$.

В тех случаях, когда критерий по условию задачи необходимо минимизировать, например, время разработки или сметная стоимость, для его нормализации используют выражение $Q = Q_{\text{абс}} / Q_{\text{уст}}$.

Если по условию задачи критерий необходимо максимизировать, например, вероятность выполнения задания, коммерческий успех, эффективность применения и т.д., то для его нормализации используют обратную величину $Q = Q_{\text{уст}} / Q_{\text{абс}}$.

В конкурсных проектах исполнители часто задают величины параметров, по которым будут сравниваться проекты, несколько более привлекательными, чем они определены в техническом задании. В этих случаях из всех предлагаемых для оценки вариантов в качестве $Q_{\text{уст}}$ выбирается вариант, имеющий наибольшее значение критерия при их минимизации и наименьшее значение при их максимизации.

Если объединить методом «взвешивания» все частные критерии $Q_1, \dots, Q_k$, то мы получим один глобальный критерий $W = f(Q_1, \dots, Q_k)$ и тогда многокритериальная задача будет решаться как однокритериальная.

Для учета значимости критериев используется вектор весовых коэффициентов $a = (a_1, \dots, a_k)$, который определяется с помощью их нормирования. Нормирование весовых коэффициентов производится по формуле:

$$a_i^H = a_i / \sum_1^m a_i \quad (2)$$

$$0 \leq a_i^H \leq 1, \quad I = 1, \dots, k \quad \sum_1^m a_i^H = 1$$

a_i^H — нормированный весовой коэффициент.

Глобальный критерий можно получить, объединяя частные критерии различными способами. Каждый из этих способов имеет свои особенности, которые могут повлиять на принятие окончательного решения. Классическими можно считать: отношение критериев, произведение критериев и суммирование критериев.

Покажем на условных примерах, как решается задача принятия решений для случая минимизации глобального критерия.

Пример 1. Требуется выбрать для реализации лучший вариант проекта по следующим критериям: прогнозируемые объемы продаж в целевых сегментах рынка (Н), первоначальные затраты (К), срок окупаемости капвложений (Т), вероятность коммерческого успеха (Р). Расчет вариантов произведем методом глобального критерия тремя способами: отношением критериев, произведением критериев, суммированием критериев. Исходные данные представлены в таблице 1

Таблица 1

Критерии	Варианты проектов				
	1	2	3	4	5
Прогнозируемые объемы продаж в целевых сегментах рынка, шт. (N)	800	600	850	700	400
Первоначальные затраты, млн. долл. (К)	50	80	40	60	110
Срок окупаемости кап. вложений, лет (Т)	9	12	5	10	7
Вероятность коммерческого успеха (Р)	0,85	0,7	0,6	0,8	0,75

Отношение критериев. Глобальный критерий, построенный методом отношения критериев, имеет следующий вид:

$$W = \prod_{i=1}^n Q_i^{a_i} / \prod_{j=1}^m Q_j^{a_j}, \quad (3)$$

где Q_i — абсолютное значение минимизируемого частного критерия;

Q_j — абсолютное значение максимизируемого частного критерия;

n и m — соответственно число минимизируемых и максимизируемых критериев;

a_i и a_j — весовые коэффициенты.

Из выражения (3) видно, что глобальный критерий имеет вид дроби, в её числителе стоит произведение частных критериев, которые в данной задаче требуется уменьшить, а в знаменателе — произведение частных критериев, которые надо увеличить. Каждый критерий берется в степени, соответствующей его значимости, то есть равной его весовому коэффициенту.

Пусть эксперты дали следующие значения весовых коэффициентов (от 1 до 100) четырех критериев (например, прогнозируемые объемы продаж в целевых сегментах рынка, первоначальные затраты, срок окупаемости, вероятность коммерческого успеха) по рассматриваемому проекту: $a_1 = 90$, $a_2 = 22$, $a_3 = 45$, $a_4 = 68$

Пронормируем полученные коэффициенты по формуле (2):

$$a_1^H = a_1 / (a_1 + a_2 + a_3 + a_4)$$

$$a_1^H = 90 / (90 + 22 + 45 + 68) = 0,4.$$

Аналогично вычисляем $a_2^H = 0,1$, $a_3^H = 0,2$, $a_4^H = 0,3$.

Формулу для определения минимальной величины глобального критерия запишем в следующем виде:

$$W = K^{a_2} * T^{a_3} / N^{a_1} * P^{a_4}. \quad (4)$$

Рассчитаем глобальные критерии вариантов по формуле (4):

$$W_1 = 50^{0,1} * 90^{0,2} / 800^{0,4} * 0,85^{0,3} = 0,184$$

$$W_2 = 80^{0,1} * 12^{0,2} / 600^{0,4} * 0,7^{0,3} = 0,21$$

$$W_3 = 40^{0,1} * 5^{0,2} / 850^{0,4} * 0,6^{0,3} = 0,155$$

$$W_4 = 60^{0,1} * 10^{0,2} / 700^{0,4} * 0,8^{0,3} = 0,185$$

$$W_5 = 110^{0,1} * 7^{0,2} / 400^{0,4} * 0,75^{0,3} = 0,233$$

Наименьшее значение имеет критерий W_3 , что говорит о том, что его можно считать наилучшим. Действительно, это может быть правильным выбором, хотя у этого варианта самая низкая вероятность коммерческого успеха. Если бы можно было пожертвовать некоторым уменьшением объема продаж, но значительным увеличением вероятности коммерческого успеха, было бы лучше принять вариант W_1 . При наглядной простоте расчетов этот метод удобно использовать при отсутствии ограничений на величины параметров критериев. При поиске максимума критерия необходимо воспользоваться обратным выражением формулы (4).

Произведение критериев. Глобальный критерий, сформированный по этому принципу, выражен следующей формулой:

$$W = \prod_{i=1}^n (Q_i / Q_{i_{уст}})^{a_i} * \prod_{j=1}^{j=m} (Q_{j_{уст}} / Q_j)^{a_j}, \quad (5)$$

где Q_i и Q_j — абсолютные значения соответственно минимизируемого и максимизируемого критерия;

$Q_{i_{уст}}$ и $Q_{j_{уст}}$ — установленные значения Q_i и Q_j -го критерия,

n и m — соответственно число минимизируемых и максимизируемых критериев;

a_i и a_j — весовые коэффициенты.

Установленными значениями критериев могут быть требования, указанные в техническом задании на проект или предельные значения критериев среди рассматриваемых вариантов проекта.

Установленные значения критериев должны удовлетворять условиям:

$$Q_i \leq Q_{i_{уст}}, Q_j \geq Q_{j_{уст}}. \quad (6)$$

При поиске оптимального варианта решения с наименьшей величиной глобального критерия формула (5) примет следующий вид:

$$W = (K/K_{уст})^{a_2} * (T/T_{уст})^{a_3} * (N_{уст}/N)^{a_1} * (P_{уст}/P)^{a_4}. \quad (7)$$

Для простоты расчетов примем, что установленными значениями критериев будут: $K_{уст} = 110$, $T_{уст} = 12$, $N_{уст} = 400$, $P_{уст} = 0,6$.

Вычислим значения глобальных критериев для предложенных вариантов, используя формулу (7).

$$W_1 = (50/110)^{0,1} * (9/12)^{0,2} * (400/800)^{0,4} * (0,6/0,85)^{0,3} = 0,591$$

$$W_2 = (80/110)^{0,1} * (12/12)^{0,2} * (400/600)^{0,4} * (0,6/0,7)^{0,3} = 0,784$$

$$W_3 = (40/110)^{0,1} * (5/12)^{0,2} * (400/850)^{0,4} * (0,6/0,6)^{0,3} = 0,56$$

$$W_4 = (60/110)^{0,1} * (10/12)^{0,2} * (400/700)^{0,4} * (0,6/0,8)^{0,3} = 0,664$$

$$W_5 = (110/110)^{0,1} * (7/12)^{0,2} * (400/400)^{0,4} * (0,6/0,75)^{0,3} = 0,838$$

Минимальную величину имеет критерий $W_3 = 0,56$, поэтому его будем считать лучшим из представленных проектов. Хотя в этом методе произведения критериев мы задаем ограничения на параметры, это в одинаковой степени сказывается на всех вариантах. Этот метод хорошо использовать при относительном сравнении вариантов между собой, например, выборе направлений исследований, оценки привлекательности различных сегментов рынка для продвижения новой техники и т. д.

Суммирование критериев. Формулу для расчета глобального критерия этим способом можно представить в следующем виде:

$$W = \sum_{i=1}^n a_i * Q_i / Q_{i \text{ уст}} + \sum_{j=1}^m a_j * Q_j \text{ уст} / Q_j. \quad (8)$$

По этой формуле глобальный критерий, имеющий наименьшее значение, будет считаться наилучшим. Запишем формулу для расчета, используя принятые ранее обозначения в формуле (5) и произведем необходимые расчеты:

$$W = a_k * K / K_{\text{уст}} + a_T * T / T_{\text{уст}} + a_n * N_{\text{уст}} / N + a_p * P_{\text{уст}} / P \quad (9)$$

$$W_1 = 0,1 (50/110) + 0,2 (9/12) + 0,4 (400/800) + 0,3 (0,6/0,85) = 0,607$$

$$W_2 = 0,1 (80/110) + 0,2 (12/12) + 0,4 (400/600) + 0,3 (0,6/0,7) = 0,795$$

$$W_3 = 0,1 (40/110) + 0,2 (5/12) + 0,4 (400/850) + 0,3 (0,6/0,9) = 0,507$$

$$W_4 = 0,1 (60/110) + 0,2 (10/12) + 0,4 (400/700) + 0,3 (0,6/0,8) = 0,673$$

$$W_5 = 0,1 (110/110) + 0,2 (7/12) + 0,4 (400/400) + 0,3 (0,6/0,75) = 0,856$$

При сравнении критериев этим способом наилучшим является третий вариант, равный $W_3 = 0,507$.

Еще на одном примере покажем решение задачи, в которой необходимо выбрать предприятие-соисполнителя работ по аутсорсингу, для случая минимизации глобального критерия.

Пример 2. Перед руководителем проекта стоит задача выбора в качестве соисполнителя одного из предприятий-разработчиков программного продукта, если на этот счет нет определяющих выбор нормативных документов. Консультанты по стратегическому менеджменту и исследованию рынка предложили целый ряд возможных предприятий, претендующих на эту работу, установили критерии, по которым следует оценивать эти предприятия и дали экспертную оценку значимости критериев. Они приведены в таблице 2. Необходимо определить предприятие-разработчика, имеющего наилучший показатель методом суммирования критериев.

Решение. Отметим, что из всех семи критериев первые два критерия — «уровень цен» и «сроки выполнения заказа» нам необходимо минимизировать, остальные критерии максимизировать. Примем следующие установленные значения по каждому частному критерию:

- уровень цен — $Q_{1 \text{ уст}} = 9$ (максимальное значение из всех вариантов);

Таблица 2

Предприятие соисполнитель	Частные критерии						
	Уровень цен, (балл)	Сроки исполнения заказа, (балл)	Техниче- ский уро- вень, (балл)	Качество работы, (балл)	Финансовое положение предприятия, (балл)	Репутация на рынке программ- ных услуг, (балл)	Опыт работы, (балл)
«Вперед»	9	6	8	8	9	7	8
«Инфотех»	6	4	6	5	7	6	7
«Фотон»	8	5	7	10	8	8	6
«Киберсеть»	7	6	5	6	7	4	5
«Орбита»	8	7	9	7	6	6	6
Весовые ко- эффициенты, a_i	$a_1=0,25$	$a_2=0,15$	$a_3=0,2$	$a_4=0,15$	$a_5=0,1$	$a_6=0,1$	$a_7=0,05$

- сроки исполнения заказа — $Q_{2\text{уст}} = 7$ (максимальное значение из всех вариантов);
- технический уровень — $Q_{3\text{уст}} = 5$ (минимальное значение из всех вариантов);
- качество работы — $Q_{4\text{уст}} = 5$ (минимальное значение из всех вариантов);
- финансовое положение предприятия — $Q_{5\text{уст}} = 6$ (минимальное значение из всех вариантов);
- репутация на рынке программных услуг — $Q_{6\text{уст}} = 4$ (минимальное значение из всех вариантов);
- опыт работы — $Q_{7\text{уст}} = 5$ (минимальное значение из всех вариантов);

Вычислим значения глобальных критериев по каждому варианту.

$$W_1 = 0,25 * 9/9 + 0,15 * 6/7 + 0,2 * 5/8 + 0,15 * 5/8 + 0,1 * 6/9 + 0,1 * 4/7 + 0,05 * 5/8 = 0,719$$

$$W_2 = 0,25 * 6/9 + 0,15 * 4/7 + 0,2 * 5/6 + 0,15 * 5/5 + 0,1 * 6/7 + 0,1 * 4/6 + 0,05 * 5/7 = 0,752$$

$$W_3 = 0,25 * 8/9 + 0,15 * 5/7 + 0,2 * 5/7 + 0,15 * 5/10 + 0,1 * 6/8 + 0,1 * 4/8 + 0,05 * 5/6 = 0,709$$

$$W_4 = 0,25 * 7/9 + 0,15 * 6/7 + 0,2 * 5/5 + 0,15 * 5/6 + 0,1 * 6/7 + 0,1 * 4/4 + 0,05 * 5/5 = 0,879$$

$$W_5 = 0,25 * 8/9 + 0,15 * 7/7 + 0,2 * 5/9 + 0,15 * 5/7 + 0,1 * 6/6 + 0,1 * 4/6 + 0,05 * 5/6 = 0,793$$

Таким образом, лучшим предприятием-соисполнителем для разработки программного продукта является предприятие «Фотон» ($W_3 = 0,709$).

Метод суммирования критериев учитывает ресурсы на частные критерии и в этом его достоинство и преимущество по сравнению с другими методами синтеза глобального критерия при условии, что установленные требования достаточно обоснованы. Каждый из рассмотренных методов обладает своими достоинствами и недостатками, определяющими его оптимальную область применения.

Так как приоритетность критериев устанавливается с помощью экспертов, то всем рассмотренным методам присуща определенная субъективность и принимаемое решение не всегда может быть оптимальным. Для повышения обоснованности принимаемых решений задачу решают разными методами с последующим сравнением вариантов, после чего принимается окончательное решение. Чем сложнее решаемая задача и чем ответственнее принимаемое решение, тем большее значение приобретает сбор, систематизация и анализ исходной информации, необходимой для реализации решения.

Список литературы

1. Черноруцкий И.Г. Методы принятия решений. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 416 с.
2. Подиновский В.Д., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. 256 с.
3. Ершов Д.М., Кобылко А.А. Выбор комплексной стратегии предприятия с учетом сочетаемости стратегических решений. Экономика и математические методы. 2015. № 1. С. 97–108.
4. Фомин А.В., Умрихин О.Н. Принятие решений при конструировании и производстве авиационной микроэлектронной аппаратуры. Московский авиационный институт, 1982 г.
5. Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. 176 с.
6. Литвак Б.Г. Управленческие решения. — М.: Московская финансово-промышленная академия, 2012.
7. Филинов-Чернышов Н.Б. Разработка и принятие управленческих решений. Учебник и практикум для вузов. — М.: Издательство ЮРАЙТ, 2019. 324 с.

References

1. Chernorutsky I.G. Decision making methods. — St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2005. 416 p.
2. Podinovsky V.D., Nogin V.D. Pareto-optimal solutions to multicriterial problems. — M.: FIZMATLIT, 2007. 256 p.
3. Ershov D.M., Kobylko A.A. Choosing a comprehensive enterprise strategy taking into account the combination of strategic solutions. Economics and mathematical methods. 2015. No. 1. P. 97–108.
4. Fomin A.V., Umrikhin O.N. Making decisions in the design and production of aviation microelectronic equipment. Moscow Aviation Institute, 1982
5. Nogin V.D. Decision-making in a multicriterial environment: quantitative approach. — M.: FIZMATLIT, 2005. 176 s.
6. Litvak B.G. Management Solutions. — M.: Moscow Financial and Industrial Academy, 2012.
7. Filinov-Chernyshov N.B. Development and management decisions. Textbook and workshop for universities. — M.: URAIT Publishing House. 2019. 324 p.