

## МЕТОД КОМПЛЕКСНОЙ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

---

**Abstract:** A new method of quantitative treatment of expert estimations and metrical descriptions is offered at planning of the difficult technical systems, providing the effective decision of task of evaluation, organization and choice, due to the complex use, different methods of quantitative estimation of quality of alternative variants.

**Key words:** index of quality, package of metrical descriptions, introduction of birth-certificates in space, expert estimations, matrix of the «second indexes», « $\nu$ -experts».

**Аноація:** Запропонований метод кількісної обробки експертних оцінок і метричних характеристик при проектуванні складних технічних систем, що забезпечує ефективне рішення задачі оцінювання, упорядкування і вибору за рахунок комплексного використання різних методів кількісної оцінки якості альтернативних варіантів.

**Ключові слова:** показник якості, згортка метричних характеристик, введення метрик у просторі, експертні оцінки, матриця «вторинних показників», « $\nu$ -експерти».

**Аннотація:** Предложен метод количественной обработки экспертных оценок и метрических характеристик при проектировании сложных технических систем, обеспечивающий эффективное решение задачи оценивания, упорядочения и выбора за счет комплексного использования различных методов количественной оценки качества альтернативных вариантов.

**Ключевые слова:** показатель качества, свертка метрических характеристик, введение метрик в пространстве, экспертные оценки, матрица «вторичных показателей», « $\nu$ -эксперты».

### 1. Введение

Существует множество практических задач, в которых возникает необходимость оценки, сравнения и выбора сложных технических систем (далее систем). Наиболее часто такие задачи встречаются в теории принятия решений [1], исследовании операций [2], кибернетике [3], теории оптимального выбора [4], квалиметрии [5], теории экспертных оценок [6].

Так, например, при создании новой техники, проектировании сложных технических систем, устройств, приборов, комплексов, разработке технологии их построения и эксплуатации методы количественной оценки качества становятся крайне важным средством построения решающего правила, определяющего общую оценку системы по совокупности показателей, т.к. последствия результатов выбора могут быть очень серьезными.

При создании новой системы одним из основных этапов является формулирование требований к системе и обоснование технического задания на проектирование [7]. Качество системы во многом будет определяться обоснованностью технического задания. В то же время, именно на этом этапе, лицо, принимающее решение (ЛПР), работает в условиях наибольшей неопределенности и, следовательно, принимаемое решение имеет наивысшую степень риска быть недостаточно обоснованным.

Кроме того, само решение о выборе не является тривиальным, т.к. по своей сути задача выбора многокритериальна: как минимум, она должна учитывать эффективность и стоимость системы.

### 2. Анализ основных методов количественной оценки качества систем

В настоящее время при решении задачи выбора систем в большинстве случаев используются две группы методов, основанные на решении однокритериальной и многокритериальной задач [8].

Однако число конкретных математических методов (функциональных зависимостей), которые могут быть использованы в практических расчетах, достаточно велико.

Все наиболее известные методы целесообразно разделить, как показано на рис. 1.

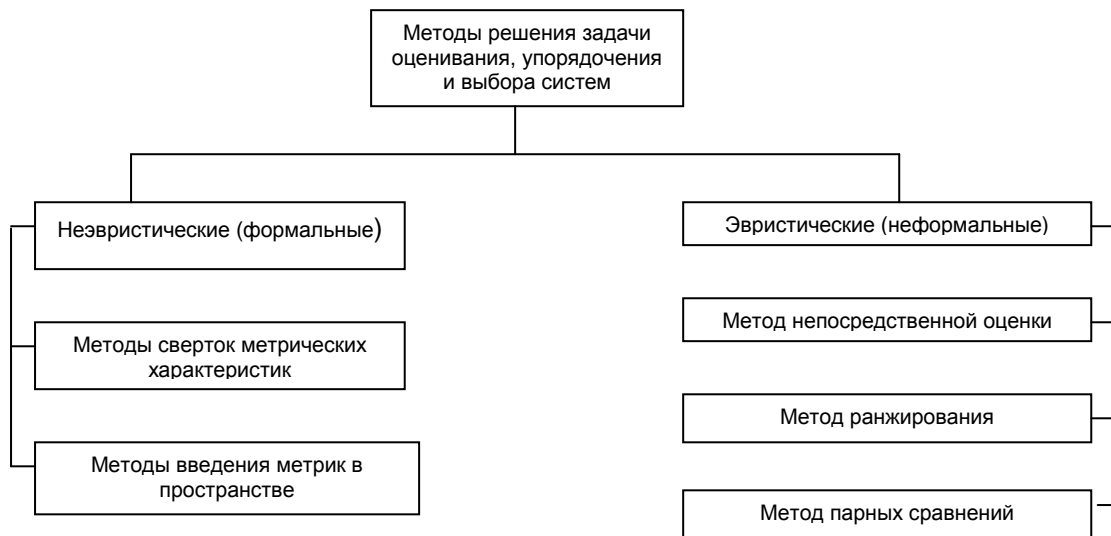


Рис. 1. Классификация методов решения задачи оценивания, упорядочения и выбора систем

Хотя данная классификация несколько условна, но она весьма продуктивна по двум причинам:

- 1) определяется область выбора наиболее подходящего для каждой конкретной задачи метода среди известных на настоящее время;
- 2) формируются предпосылки для разработки новых методов (например, путем модификации, совмещения, комплексирования и т.п.).

Как видно из приведенной классификации и проведенного анализа литературы [9, 10, 11], области применения методов расчета комплексной оценки, основанные на свертках метрических характеристик, методов введения метрик в пространстве нормированных метрических характеристик и методов экспертных оценок пересекаются, т.е. несколько методов могут быть применены к одной и той же задаче, что обуславливает неопределенность в выборе метода решения.

Наиболее целесообразным для решения данной задачи является «экспертный» подход, который заключается в следующем:

- проводится оценка качества систем всеми допустимыми методами из рассмотренных, и по ее результатам формируется матрица «вторичных показателей» – «системы на методы»;
- считая результаты решений задачи оценки всеми методами (матрицу «вторичных показателей») мнениями высококвалифицированных виртуальных экспертов («v-экспертов»), для ее обработки применяются методы экспертных оценок.

Эта задача легко могла быть решена, если бы был известен наиболее применимый метод экспертной оценки для каждого случая (каждой матрицы данных) или универсальный метод, применимый во всех случаях.

### 3. Методы экспертных оценок

Рассмотрим кратко достоинства и недостатки основных экспертных методов.

Метод непосредственной оценки применяется в случаях, когда объекты экспертизы, определяющие конечные результаты, поддаются непосредственному сравнению, так как имеют одинаковую природу, т.е. у них есть общий эталон сравнения. Метод непосредственной оценки позволяет учесть степень превосходства какого-либо одного показателя по отношению к другим, но при определении обобщенного показателя эффективности, ошибочная оценка экспертом менее значительного показателя, при правильном определении его взаимного расположения по отношению к другим показателям может привести к значительному искажению конечного результата.

Метод ранжирования и его разновидности [9] могут применяться в следующих случаях:

– когда необходимо упорядочить какие-либо объекты или явления во времени или пространстве. Эта ситуация возникает, когда необходимо определить не степень выраженности какого-либо их качества, а лишь взаимное пространственное или временное расположение этих объектов;

– при необходимости упорядочить объекты в соответствии с каким-либо качеством, но при этом не требуется производить его точное измерение;

– если какое-либо качество измеримо, но в настоящий момент не может быть измерено по причинам практического или теоретического характера.

При использовании метода ранжирования на получение конечного результата влияет правильный выбор его разновидности для конкретной ситуации. Точность и надежность процедуры ранжирования в значительной степени зависят от количества объектов. Чем больше таких объектов, тем ниже их «различимость» с точки зрения эксперта, а, следовательно, тем менее надежно можно установить ранг объекта, что является существенным недостатком метода.

К основным недостаткам метода ранжирования можно также отнести потерю информации об оцениваемых объектах вследствие упорядочения их лишь по взаимному расположению без учета степени выраженности какого-либо их качества. Поэтому метод ранжирования редко используется в «чистом виде». Чаще всего он сочетается с другими методами, обеспечивающими более четкое различие между объектами. Одним из них является метод непосредственной оценки и некоторые его разновидности (ранжирование по сравнимой шкале) [1].

Метод парных сравнений применяется в случаях выявления предпочтений для большого числа объектов и в случаях, когда различия между объектами настолько малы, что непосредственная оценка или ранжирование не обеспечивают их разумного упорядочения.

Метод парного сравнения без дополнительной обработки и ряда ограничений не дает полного упорядочения объектов [9], что является его существенным недостатком.

Рассмотренные выше три метода решения (непосредственной оценки, ранжирования и парного сравнения) обладают различными качествами, но приводят к близким результатам. Поэтому выбор метода «вторичной» обработки (ранжирование или парные сравнения) предлагается производить по числу оцениваемых объектов и малому различию между ними [1, 9]. Так как понятие «малое различие» не является четкой физической величиной, а её определение

требует дополнительных исследований, то за критерий выбора предлагается брать «число оцениваемых объектов» ( $k$ ). Если количество ранжируемых объектов  $n < k$  – метод ранжирования, а при  $n > k$  – метод парных сравнений. Следуя рекомендациям [9],  $k$  не должно быть больше 20, а наиболее надежна эта процедура, когда  $k < 10$ .

Экспериментальная сравнительная оценка применения этих методов в процессе исследований для различного количества объектов подтвердила данное утверждение.

#### 4. Разработка метода комплексной экспертной оценки (качества систем)

Учитывая вышеизложенное, очевидно, что повысить устойчивость результата возможно за счет получения комплексной оценки по результатам решения задачи выбора всеми допустимыми методами из представленных, если бы был известен способ обработки таких результатов.

В качестве такого способа и предлагается использовать Метод Комплексной Экспертной Оценки (МКЭО), обеспечивающий эффективное решение за счет получения устойчивого результата по совокупности методов.

Сущность предлагаемого метода заключается в следующем.

Описание сравниваемых систем, каждая из которых представлена вектором характеристик, задается исходной матрицей  $A (m \times n)$ , где  $m$  – число сравниваемых вариантов систем (строк матрицы  $A$ ),  $n$  – число характеристик (столбцов матрицы  $A$ ).

Каждый элемент матрицы  $A$  есть значение характеристики  $X_{ji}, j = 1, m, i = 1, n$ , то есть  $X_{ji}$  есть значение  $i$ -й характеристики  $j$ -го варианта системы. Матрица  $A$  имеет следующий вид:

Таблица 1. Исходные данные в методе комплексной экспертной оценки систем

Варианты систем	Характеристики					
	$C_1$	$C_2$	-----	$C_i$	-----	$C_n$
$V_1$	$X_{11}$	$X_{12}$	-----	$X_{1i}$	-----	$X_{1n}$
$V_2$	$X_{21}$	$X_{22}$	-----	$X_{2i}$	-----	$X_{2n}$
-	-	-	-----	-	-----	-
$V_j$	$X_{j1}$	$X_{j2}$	-----	$X_{ji}$	-----	$X_{jn}$
-	-	-	-----	-	-----	-
$V_m$	$X_{m1}$	$X_{m2}$	-----	$X_{mi}$	-----	$X_{mn}$

Задается некоторое нормирующее отображение множества характеристик вариантов систем  $\{X\}$ :

$$\{X_{ij}\} \xrightarrow{F} \{K_{ij}\} \quad (i = 1, n; j = 1, m),$$

где  $X_{ij}$  –  $i$ -я характеристика  $j$ -й системы;

$K_{ij}$  – оценка качества  $j$ -й системы по  $i$ -му свойству.

Результатом такого отображения  $F$  является матрица  $A'(m \times n)$ , где  $m$  – число сравниваемых вариантов систем (строк матрицы  $A'$ ),  $n$  – число показателей качеств по различным свойствам системы (столбцов матрицы  $A'$ ).

Каждый элемент матрицы  $A'$  есть значение показателя качества системы по  $X_{ji}, j = 1, m, i = 1, n, ,$  то есть  $K_{ji}$  есть значение  $i$ -го показателя  $j$ -го варианта системы. Матрица  $A'$  имеет следующий вид:

Таблица 2. Показатели качества систем

Варианты систем	Показатели качества					
	$P_1$	$P_2$	-----	$P_i$	----	$P_n$
$V_1$	$K_{11}$	$K_{12}$	-----	$K_{1i}$	----	$K_{1n}$
$V_2$	$K_{21}$	$K_{22}$	-----	$K_{2i}$	----	$K_{2n}$
-	-	-	-----	-	----	-
$V_j$	$K_{j1}$	$K_{j2}$	-----	$K_{ji}$	----	$K_{jn}$
-	-	-	-----	-	----	-
$V_m$	$K_{m1}$	$K_{m2}$	-----	$K_{mi}$	----	$K_{mn}$

Для  $m$  строк матрицы  $A'$  при решении задачи выбора каждым из допустимых методов определяется вектор вещественных неотрицательных чисел  $(KO_{j1}, KO_{j2}, \dots, KO_{ji}, \dots, KO_{js})$ , которые составляют комплексную оценку соответствующих вариантов систем,  $j = 1, m$ , где  $m$  – число вариантов систем. Получаем матрицу  $B$ :

Таблица 3. Комплексные оценки качества систем

Варианты систем	Комплексные оценки качества различными методами					
	$M_1$	$M_2$	-----	$M_i$	-----	$M_s$
$V_1$	$KO_{11}$	$KO_{12}$	-----	$KO_{1i}$	-----	$KO_{1s}$
$V_2$	$KO_{21}$	$KO_{22}$	-----	$KO_{2i}$	-----	$KO_{2s}$
-	-	-	-----	-	-----	-
$V_j$	$KO_{j1}$	$KO_{j2}$	-----	$KO_{ji}$	-----	$KO_{js}$
-	-	-	-----	-	-----	-
$V_m$	$KO_{m1}$	$KO_{m2}$	-----	$KO_{mi}$	-----	$KO_{ms}$

Далее, полагая, что оценки каждым из допустимых методов являются оценками « $v$ -экспертов», производим «вторичную» обработку полученной информации либо методом ранжирования, либо методом парных сравнений, используя в качестве критерия выбора метода «количество объектов» ( $k$ ):

$n < k$  – метод ранжирования;

$n > k$  – метод парных сравнений, где  $k = 10$ ,

находим результирующую оценку  $A_{МКЭО} = F_{МКЭО}(C_1(Q_{VЭ}), \dots, C_n(Q_{VЭ}))$ .

Блок-схема метода комплексной экспертной оценки представ-лена на рис. 2.

## 5. Выводы

Сравнительная оценка результатов обработки «вторичной» информации методами непосредственной оценки, ранжирования, парных сравнений и комплексной экспертной оценки

показала, что область решений (разброс крайних мнений) метода комплексной экспертной оценки

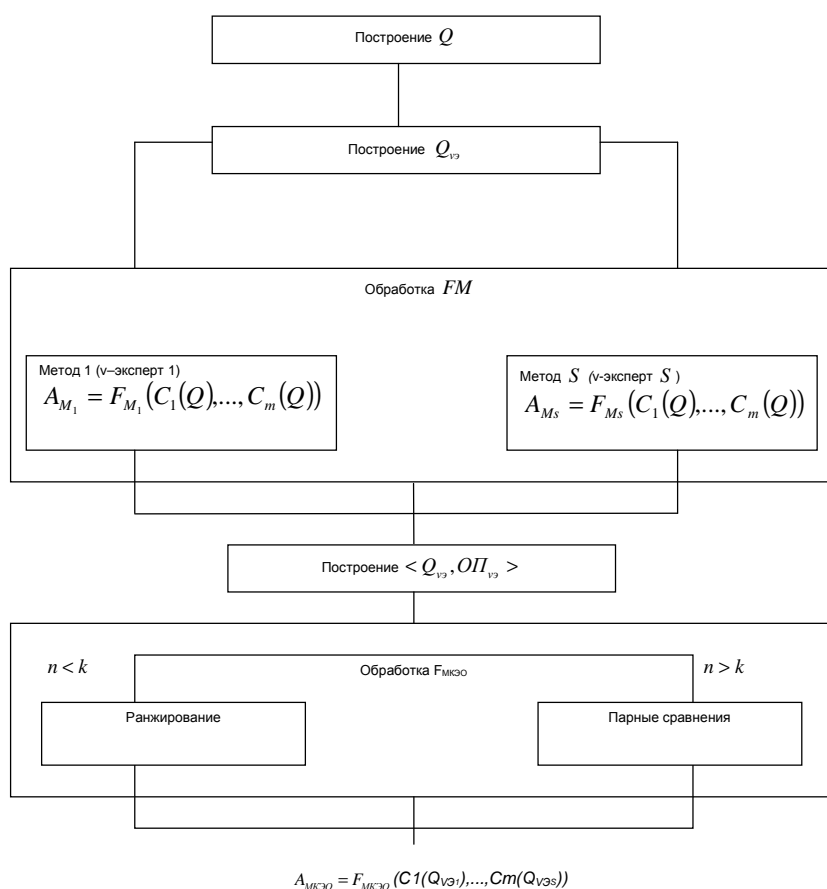


Рис. 2. Блок-схема метода комплексной экспертной оценки систем

каждого из этих методов для решения задачи кажется целесообразным;

– при необходимости комплексного применения всех методов для решения одной и той же задачи.

Таким образом, метод комплексной экспертной оценки позволяет минимизировать риск принятия неверного решения при проектировании систем за счет комплексного использования различных методов количественной оценки качества альтернативных вариантов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Макаров И.М., Виноградская Т.М., Рубчинский А.А., Соколов В.Б. Теория выбора и принятия решений. – М.: Наука, 1982. – С. 328.
2. Динер И.Я. Исследование операций. – Л.: Военно-морская академия, 1969. – С. 524.
3. Эшби У.Р. Введение в кибернетику. – М.: ИЛ, 1958. – С. 242.
4. Уайдл Д. Оптимальное проектирование: Пер. с англ. – М.: Мир, 1981. – С. 156.
5. Азгальдов Г.Г., Райхман Э.П. О квалиметрии. – М.: Издательство стандартов, 1973. – С. 224.
6. Евланов Л.Г., Кутузов В.А. Экспертные оценки в принятии плановых решений. – М.: Экономика, 1978. – С. 133.
7. Бёшелев С.Д., Карпова И.В. Выбор перспективной техники с помощью метода экспертных оценок // Экономика и математические методы. – 1972. – Т. VIII. – Вып. 1. – С. 79.
8. Статников Р.Б., Матусов И.Б. Многокритериальное проектирование машин. – М.: Наука, 1972. – С. 176.
9. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. – М.: Статистика, 1980. – С. 263.
10. Галичев А.В., Шор Я.Б., Погожев И.Б. и др. Квалиметрия (её содержание, задачи и методы) // Стандарты и качество. – 1970. – № 11. – С. 17–24.
11. Плют В. Сравнительный многомерный анализ в экономических исследованиях. – М.: Статистика, 1980. – С. 151.

меньше областей решений методов непосредственной оценки, ранжирования и парных сравнений.

Это подтверждает вывод о большей достоверности решения задачи группового предпочтения методом комплексной экспертной оценки по сравнению с другими методами.

Метод комплексной экспертной оценки рекомендуется применять в следующих случаях:

– когда ни один из методов (сверток, метрик и экспертных оценок) в «чистом» виде не подходит для решения данной задачи;

– если использование