

1. ЭКСПЕРТНЫЕ МЕТОДЫ

1.1. Непосредственное назначение весовых коэффициентов

Пример 1.1. Используя метод непосредственного назначения весов, определить коэффициенты значимости критериев для предложенной ситуации: выбор модели мотоцикла (BMW R Nine T, Harley-Davidson V-Rod, Ducati 1299 Panigale, BMW R 1200 GS, Triumph Tiger Explorer). В качестве частных критериев, по которым происходит оценивание альтернативных вариантов, были выбраны следующие: цена (руб.), год выпуска, пробег (км), объем двигателя (см³) и мощность двигателя (л.с.).

Решение

При непосредственном назначении весовых коэффициентов [1–3] каждый эксперт оценивает сравнительную важность рассматриваемых критериев.

В этом методе каждый j -й эксперт для каждого i -го критерия должен назначить весовой коэффициент λ_{ji} , таким образом, чтобы сумма всех весовых коэффициентов, назначенных одним экспертом для различных критериев, равнялась единице:

$$\sum_{i=1}^m \lambda_{ji} = 1, j = \overline{1, n}, \quad (1.1)$$

где n – число экспертов, m – число критериев.

1. В результате опроса группы экспертов из 8 человек были получены весовые коэффициенты трех критериев, представленные в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Результаты опроса группы экспертов

| № эксперта | Цена, руб | Год выпуска | Пробег, км | Объем двигателя, см ³ | Мощность двигателя, л.с. |
|------------|-----------|-------------|------------|----------------------------------|--------------------------|
| 1 | 0,3 | 0,15 | 0,2 | 0,15 | 0,2 |
| 2 | 0,28 | 0,14 | 0,22 | 0,15 | 0,21 |
| 3 | 0,29 | 0,13 | 0,23 | 0,16 | 0,19 |
| 4 | 0,3 | 0,15 | 0,2 | 0,16 | 0,19 |
| 5 | 0,27 | 0,14 | 0,21 | 0,17 | 0,21 |
| 6 | 0,29 | 0,14 | 0,23 | 0,16 | 0,18 |
| 7 | 0,27 | 0,13 | 0,21 | 0,18 | 0,21 |
| 8 | 0,26 | 0,16 | 0,19 | 0,17 | 0,22 |

2. Проверим выполнение условия (1.1). Результат показан на рисунке 1.1.

| | A | B | C | D | E | F | G |
|----|------------|-----------|-------------|------------|----------------------------------|--------------------------|-------|
| 10 | № эксперта | Цена, руб | Год выпуска | Пробег, км | Объем двигателя, см ³ | Мощность двигателя, л.с. | Сумма |
| 11 | 1 | 0,3 | 0,15 | 0,2 | 0,15 | 0,2 | 1 |
| 12 | 2 | 0,28 | 0,14 | 0,22 | 0,15 | 0,21 | 1 |
| 13 | 3 | 0,29 | 0,13 | 0,23 | 0,16 | 0,19 | 1 |
| 14 | 4 | 0,3 | 0,15 | 0,2 | 0,16 | 0,19 | 1 |
| 15 | 5 | 0,27 | 0,14 | 0,21 | 0,17 | 0,21 | 1 |
| 16 | 6 | 0,29 | 0,14 | 0,23 | 0,16 | 0,18 | 1 |
| 17 | 7 | 0,27 | 0,13 | 0,21 | 0,18 | 0,21 | 1 |
| 18 | 8 | 0,26 | 0,16 | 0,19 | 0,17 | 0,22 | 1 |

Рис. 1.1. Проверка выполнения условия (1.1)

3. Рассчитаем коэффициент значимости каждого критерия λ_i , который равен:

$$\lambda_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \lambda_{ji}. \quad (1.2)$$

Для этого воспользуемся функцией MS Office Excel 2007 *СРЗНАЧ()* (категория: Статистические), определяющей среднее значение (рис. 1.2).

| | A | B | C | D | E | F | G |
|----|-------------------------|-----------|-------------|------------|----------------------------------|--------------------------|-------|
| 10 | № эксперта | Цена, руб | Год выпуска | Пробег, км | Объем двигателя, см ³ | Мощность двигателя, л.с. | Сумма |
| 11 | 1 | 0,3 | 0,15 | 0,2 | 0,15 | 0,2 | 1 |
| 12 | 2 | 0,28 | 0,14 | 0,22 | 0,15 | 0,21 | 1 |
| 13 | 3 | 0,29 | 0,13 | 0,23 | 0,16 | 0,19 | 1 |
| 14 | 4 | 0,3 | 0,15 | 0,2 | 0,16 | 0,19 | 1 |
| 15 | 5 | 0,27 | 0,14 | 0,21 | 0,17 | 0,21 | 1 |
| 16 | 6 | 0,29 | 0,14 | 0,23 | 0,16 | 0,18 | 1 |
| 17 | 7 | 0,27 | 0,13 | 0,21 | 0,18 | 0,21 | 1 |
| 18 | 8 | 0,26 | 0,16 | 0,19 | 0,17 | 0,22 | 1 |
| 19 | Коеф. значимости | 0,2825 | 0,1425 | 0,21125 | 0,1625 | 0,20125 | 1 |

| | A | B | C | D | E | F |
|----|-------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 16 | 6 | 0,29 | 0,14 | 0,23 | 0,16 | 0,18 |
| 17 | 7 | 0,27 | 0,13 | 0,21 | 0,18 | 0,21 |
| 18 | 8 | 0,26 | 0,16 | 0,19 | 0,17 | 0,22 |
| 19 | Коеф. значимости | =СРЗНАЧ(B11:B18) | =СРЗНАЧ(C11:C18) | =СРЗНАЧ(D11:D18) | =СРЗНАЧ(E11:E18) | =СРЗНАЧ(F11:F18) |

Рис. 1.2. Расчет коэффициента значимости

4. Для определения согласованности мнений экспертов необходимо определить *коэффициент вариальности* v , который показывает величину разброса экспертных оценок. Он определяется как отношение среднеквадратического отклонения (*СТАНДОТКЛОН()*)

$$\sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n (\lambda_{ji})^2 - \left(\sum_{j=1}^n \lambda_{ji} \right)^2}{n(n-1)}}$$

к коэффициенту значимости i -го критерия

$$\lambda_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \lambda_{ji}.$$

Результат показан на рисунке 1.3.

| | A | B | C | D | E | F | G |
|----|-------------------------|------------|-------------|-------------|----------------------------------|--------------------------|-------|
| 10 | № эксперта | Цена, руб | Год выпуска | Пробег, км | Объем двигателя, см ³ | Мощность двигателя, л.с. | Сумма |
| 11 | 1 | 0,3 | 0,15 | 0,2 | 0,15 | 0,2 | 1 |
| 12 | 2 | 0,28 | 0,14 | 0,22 | 0,15 | 0,21 | 1 |
| 13 | 3 | 0,29 | 0,13 | 0,23 | 0,16 | 0,19 | 1 |
| 14 | 4 | 0,3 | 0,15 | 0,2 | 0,16 | 0,19 | 1 |
| 15 | 5 | 0,27 | 0,14 | 0,21 | 0,17 | 0,21 | 1 |
| 16 | 6 | 0,29 | 0,14 | 0,23 | 0,16 | 0,18 | 1 |
| 17 | 7 | 0,27 | 0,13 | 0,21 | 0,18 | 0,21 | 1 |
| 18 | 8 | 0,26 | 0,16 | 0,19 | 0,17 | 0,22 | 1 |
| 19 | Козф. значимости | 0,2825 | 0,1425 | 0,21125 | 0,1625 | 0,20125 | 1 |
| 20 | Ср. кв. откл. | 0,01488048 | 0,010351 | 0,01457738 | 0,010350983 | 0,013562027 | |
| 21 | Козф. вариаб. | 0,05267425 | 0,0726385 | 0,069005348 | 0,063698359 | 0,067388953 | |

| | A | B | C | D | E | F |
|----|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 17 | 7 | 0,27 | 0,13 | 0,21 | 0,18 | 0,21 |
| 18 | 8 | 0,26 | 0,16 | 0,19 | 0,17 | 0,22 |
| 19 | Козф. значимости | =СРЗНАЧ(B11:B18) | =СРЗНАЧ(C11:C18) | =СРЗНАЧ(D11:D18) | =СРЗНАЧ(E11:E18) | =СРЗНАЧ(F11:F18) |
| 20 | Ср. кв. откл. | =СТАНДОТКЛОН(B11:B18) | =СТАНДОТКЛОН(C11:C18) | =СТАНДОТКЛОН(D11:D18) | =СТАНДОТКЛОН(E11:E18) | =СТАНДОТКЛОН(F11:F18) |
| 21 | Козф. вариаб. | =B20/B19 | =C20/C19 | =D20/D19 | =E20/E19 | =F20/F19 |

Рис. 1.3. Результаты расчета

При $v \leq 0,2$ оценки экспертов можно считать согласованными. В случае $v \geq 0,2$ целесообразно провести с экспертами содержательное обсуждение важности оцениваемых параметров, после чего повторить экспертизу.

В данном случае все коэффициенты вариабельности меньше 0,2. Это означает полную согласованность оценок экспертов по всем критериям.

1.2. Метод парных сравнений

Пример 1.2. Для ситуации, изложенной в примере 1.1, определить коэффициенты значимости критериев *методом парных сравнений*.

Решение

Как показывает опыт, удовлетворение экспертами требования (1.1) при числе частных критериев больше трех, вызывает затруднение. Для того чтобы избежать этого требования, можно воспользоваться *методом парных сравнений* [1–3].

1. Определим число оцениваемых параметров m и число экспертов n . В нашем случае: $m=5$; $n=8$.

2. Для каждого эксперта составляем отдельную таблицу по форме, представленной на рисунке 1.4.

| | A | B | C | D | E | F | G |
|----|----------------------------------|------------------|------------------|------------------|----------------------------------|--------------------------|----------------|
| 10 | Эксперт 1 | Цена, руб | Год выпуска | Пробег, км | Объем двигателя, см ³ | Мощность двигателя, л.с. | Сумма |
| 11 | Цена, руб | | | | | | =СУММ(B11:F11) |
| 12 | Год выпуска | =ЕСЛИ(C11=1;0;1) | | | | | =СУММ(B12:F12) |
| 13 | Пробег, км | =ЕСЛИ(D11=1;0;1) | =ЕСЛИ(D12=1;0;1) | | | | =СУММ(B13:F13) |
| 14 | Объем двигателя, см ⁴ | =ЕСЛИ(E11=1;0;1) | =ЕСЛИ(E12=1;0;1) | =ЕСЛИ(E13=1;0;1) | | | =СУММ(B14:F14) |
| 15 | Мощность двигателя, л.с. | =ЕСЛИ(F11=1;0;1) | =ЕСЛИ(F12=1;0;1) | =ЕСЛИ(F13=1;0;1) | =ЕСЛИ(F14=1;0;1) | | =СУММ(B15:F15) |
| 16 | | | | | | | =СУММ(G11:G15) |

Рис. 1.4. Таблица для каждого эксперта

3. В этой таблице эксперт должен ввести оценку парных сравнений, которая заключается в следующем. Если k -ый параметр важнее j -го, то в ячейке, принадлежащей k -ой строке и j -му столбцу, указывается 1, в противном случае – 0.

Пример заполнения такой таблицы первым экспертом приведен на рисунке 1.5, из которого видно, что по оценке этого эксперта параметр «Пробег» менее важен, чем параметры «Цена» и «Мощность двигателя», но более важен, чем параметры «Год выпуска» и «Объем двигателя».

| | A | B | C | D | E | F | G |
|----|----------------------------------|-----------|-------------|------------|----------------------------------|--------------------------|-------|
| 10 | Эксперт 1 | Цена, руб | Год выпуска | Пробег, км | Объем двигателя, см ³ | Мощность двигателя, л.с. | Сумма |
| 11 | Цена, руб | | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 |
| 12 | Год выпуска | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | Пробег, км | 0 | 1 | | 1 | 0 | 2 |
| 14 | Объем двигателя, см ⁴ | 0 | 1 | 0 | | 0 | 1 |
| 15 | Мощность двигателя, л.с. | 0 | 1 | 1 | 1 | | 3 |
| 16 | | | | | | | 10 |

| | A | B | C | D | E | F | G |
|----|----------------------------------|------------------|------------------|------------------|----------------------------------|--------------------------|----------------|
| 10 | Эксперт 1 | Цена, руб | Год выпуска | Пробег, км | Объем двигателя, см ³ | Мощность двигателя, л.с. | Сумма |
| 11 | Цена, руб | | 1 | 1 | 1 | 1 | =СУММ(B11:F11) |
| 12 | Год выпуска | =ЕСЛИ(C11=1;0;1) | | 0 | 0 | 0 | =СУММ(B12:F12) |
| 13 | Пробег, км | =ЕСЛИ(D11=1;0;1) | =ЕСЛИ(D12=1;0;1) | | 1 | 0 | =СУММ(B13:F13) |
| 14 | Объем двигателя, см ⁴ | =ЕСЛИ(E11=1;0;1) | =ЕСЛИ(E12=1;0;1) | =ЕСЛИ(E13=1;0;1) | | 0 | =СУММ(B14:F14) |
| 15 | Мощность двигателя, л.с. | =ЕСЛИ(F11=1;0;1) | =ЕСЛИ(F12=1;0;1) | =ЕСЛИ(F13=1;0;1) | =ЕСЛИ(F14=1;0;1) | | =СУММ(B15:F15) |
| 16 | | | | | | | =СУММ(G11:G15) |

Рис. 1.5. Пример заполнения таблицы первым экспертом

4. Составим базовую таблицу (рис. 1.6), в ячейки B75:F75 введены формулы для 1-го эксперта. Адреса ячеек, указанные в базовой таблице, находятся в таблице для 1-го эксперта (см. рис. 1.5).

Базовая таблица, представленная на рисунке 1.6, является формой для ввода результатов экспертизы.

| | A | B | C | D | E | F | G |
|----|------------------|------------------|------------------|------------------|----------------------------------|--------------------------|----------------|
| 74 | № эксперта | Цена, руб | Год выпуска | Пробег, км | Объем двигателя, см ³ | Мощность двигателя, л.с. | Сумма |
| 75 | Эксперт 1 | =G11/\$G\$16 | =G12/\$G\$16 | =G13/\$G\$16 | =G14/\$G\$16 | =G15/\$G\$16 | =СУММ(B75:F75) |
| 76 | Эксперт 2 | | | | | | =СУММ(B76:F76) |
| 77 | Эксперт 3 | | | | | | =СУММ(B77:F77) |
| 78 | Эксперт 4 | | | | | | =СУММ(B78:F78) |
| 79 | Эксперт 5 | | | | | | =СУММ(B79:F79) |
| 80 | Эксперт 6 | | | | | | =СУММ(B80:F80) |
| 81 | Эксперт 7 | | | | | | =СУММ(B81:F81) |
| 82 | Эксперт 8 | | | | | | =СУММ(B82:F82) |
| 83 | Коэф. значимости | =CPЗНАЧ(B75:B82) | =CPЗНАЧ(C75:C82) | =CPЗНАЧ(D75:D82) | =CPЗНАЧ(E75:E82) | =CPЗНАЧ(F75:F82) | =СУММ(B83:F83) |

Рис. 1.6. Базовая таблица

Данные в ячейки B76:F82 из таблиц для остальных экспертов вводятся аналогично (рис. 1.7).

| | A | B | C | D | E | F | G |
|----|------------------|-----------|-------------|------------|----------------------------------|--------------------------|-------|
| 74 | № эксперта | Цена, руб | Год выпуска | Пробег, км | Объем двигателя, см ³ | Мощность двигателя, л.с. | Сумма |
| 75 | Эксперт 1 | 0,4 | 0 | 0,2 | 0,1 | 0,3 | 1 |
| 76 | Эксперт 2 | 0,4 | 0 | 0,3 | 0,1 | 0,2 | 1 |
| 77 | Эксперт 3 | 0,4 | 0 | 0,3 | 0,1 | 0,2 | 1 |
| 78 | Эксперт 4 | 0,4 | 0 | 0,3 | 0,1 | 0,2 | 1 |
| 79 | Эксперт 5 | 0,4 | 0 | 0,2 | 0,1 | 0,3 | 1 |
| 80 | Эксперт 6 | 0,4 | 0 | 0,3 | 0,1 | 0,2 | 1 |
| 81 | Эксперт 7 | 0,4 | 0 | 0,2 | 0,1 | 0,3 | 1 |
| 82 | Эксперт 8 | 0,4 | 0 | 0,2 | 0,1 | 0,3 | 1 |
| 83 | Коэф. значимости | 0,4 | 0 | 0,25 | 0,1 | 0,25 | 1 |

Рис. 1.7. Пример заполнения базовой таблицы

В базовой таблице приведены окончательные результаты проведенной экспертизы – весовые коэффициенты (коэффициенты значимости критериев).

1.3. Метод ранжировок

Пример 1.3. Для ситуации, изложенной в примере 1.1, определить коэффициенты значимости критериев *методом ранжировок* [3–5].

Решение

Сначала эксперты располагают критерии в порядке значимости (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Результаты опроса экспертов

| № эксперта | Цена, руб | Год выпуска | Пробег, км | Объем двигателя, см ³ | Мощность двигателя, л.с. | Сумма номеров |
|------------|-----------|-------------|------------|----------------------------------|--------------------------|---------------|
| 2 | 1 | 5 | 2 | 4 | 3 | 15 |
| 3 | 1 | 5 | 2 | 4 | 3 | 15 |
| 4 | 1 | 5 | 2 | 4 | 3 | 15 |
| 5 | 1 | 4 | 2 | 3 | 2 | 12 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|----|
| 6 | 1 | 5 | 2 | 4 | 3 | 15 |
| 7 | 1 | 4 | 2 | 3 | 2 | 12 |
| 8 | 1 | 5 | 3 | 4 | 2 | 15 |

В соответствии с порядком значимости критериям присваиваются номера от 1 до 5 (по числу критериев) (рис. 1.8).

| | A | B | C | D | E | F | G |
|----|------------|-----------|-------------|------------|----------------------------------|--------------------------|---------------|
| 20 | № эксперта | Цена, руб | Год выпуска | Пробег, км | Объем двигателя, см ³ | Мощность двигателя, л.с. | Сумма номеров |
| 21 | 1 | 1 | 5 | 2 | 4 | 3 | 15 |
| 22 | 2 | 1 | 5 | 2 | 4 | 3 | 15 |
| 23 | 3 | 1 | 5 | 2 | 4 | 3 | 15 |
| 24 | 4 | 1 | 5 | 2 | 4 | 3 | 15 |
| 25 | 5 | 1 | 5 | 2 | 4 | 3 | 15 |
| 26 | 6 | 1 | 5 | 2 | 4 | 3 | 15 |
| 27 | 7 | 1 | 5 | 2 | 4 | 3 | 15 |
| 28 | 8 | 1 | 5 | 3 | 4 | 2 | 15 |

| | A | B | C | D | E | F | G |
|----|------------|-----------|-------------|------------|----------------------------------|--------------------------|----------------|
| 20 | № эксперта | Цена, руб | Год выпуска | Пробег, км | Объем двигателя, см ³ | Мощность двигателя, л.с. | Сумма номеров |
| 21 | 1 | 1 | 5 | 2 | 4 | 3 | =СУММ(B21:F21) |
| 22 | 2 | 1 | 5 | 2 | 4 | 3 | =СУММ(B22:F22) |
| 23 | 3 | 1 | 5 | 2 | 4 | 3 | =СУММ(B23:F23) |
| 24 | 4 | 1 | 5 | 2 | 4 | 3 | =СУММ(B24:F24) |
| 25 | 5 | 1 | 5 | 2 | 4 | 3 | =СУММ(B25:F25) |
| 26 | 6 | 1 | 5 | 2 | 4 | 3 | =СУММ(B26:F26) |
| 27 | 7 | 1 | 5 | 2 | 4 | 3 | =СУММ(B27:F27) |
| 28 | 8 | 1 | 5 | 3 | 4 | 2 | =СУММ(B28:F28) |

Рис. 1.8. Номера критериев

Затем каждому критерию назначается ранг (рис. 1.9).

Ранг совпадает с номером, если данному критерию нет равнозначных. Если же на какой-либо позиции имеются равнозначные критерии, то их ранг равен среднеарифметическому значению их номеров.

(При вычислении рангов критериев одновременно используются таблица 1.2 и таблица на рисунке 1.8.)

| | A | B | C | D | E | F | G |
|----|------------|-----------|-------------|------------|----------------------------------|--------------------------|---------------|
| 29 | r_{ij} | | | | | | |
| 30 | № эксперта | Цена, руб | Год выпуска | Пробег, км | Объем двигателя, см ³ | Мощность двигателя, л.с. | Сумма номеров |
| 31 | 1 | 1 | 5 | 2,5 | 4 | 2,5 | 15 |
| 32 | 2 | 1 | 5 | 2 | 4 | 3 | 15 |
| 33 | 3 | 1 | 5 | 2 | 4 | 3 | 15 |
| 34 | 4 | 1 | 5 | 2 | 4 | 3 | 15 |
| 35 | 5 | 1 | 5 | 2,5 | 4 | 2,5 | 15 |
| 36 | 6 | 1 | 5 | 2 | 4 | 3 | 15 |
| 37 | 7 | 1 | 5 | 2,5 | 4 | 2,5 | 15 |
| 38 | 8 | 1 | 5 | 3 | 4 | 2 | 15 |

| | A | B | C | D | E | F | G |
|----|------------|-----------|-------------|--------------|----------------------------------|--------------------------|----------------|
| 29 | r_{ij} | | | | | | |
| 30 | № эксперта | Цена, руб | Год выпуска | Пробег, км | Объем двигателя, см ³ | Мощность двигателя, л.с. | Сумма номеров |
| 31 | 1 | =B21 | =C21 | =(D21+F21)/2 | =E21 | =(D21+F21)/2 | =СУММ(B31:F31) |
| 32 | 2 | =B22 | =C22 | =D22 | =E22 | =F22 | =СУММ(B32:F32) |
| 33 | 3 | =B23 | =C23 | =D23 | =E23 | =F23 | =СУММ(B33:F33) |
| 34 | 4 | =B24 | =C24 | =D24 | =E24 | =F24 | =СУММ(B34:F34) |
| 35 | 5 | =B25 | =C25 | =(D25+F25)/2 | =E25 | =(D26+F26)/2 | =СУММ(B35:F35) |
| 36 | 6 | =B26 | =C26 | =D26 | =E26 | =F26 | =СУММ(B36:F36) |
| 37 | 7 | =B27 | =C27 | =(D27+F27)/2 | =E27 | =(D27+F27)/2 | =СУММ(B37:F37) |
| 38 | 8 | =B28 | =C28 | =D28 | =E28 | =F28 | =СУММ(B38:F38) |

Рис. 1.9. Вычисление рангов критериев

Сумма рангов (рис. 1.10), назначенных экспертами i -тому критерию, определяется по формуле:

$$S_i = \sum_{j=1}^n r_{ji} \quad (1.3)$$

Критерий, для которого сумма рангов будет наименьшей, считается наиболее важным (в примере – критерий «Цена»).

Достоверность результатов экспертных оценок определяется с помощью *коэффициента конкордации*, который отражает степень согласованности оценок среди всех экспертов.

Алгоритм оценки согласованности мнений (рис. 1.10, 1.11):

1. Определяется сумма рангов каждого критерия S_i .
2. Рассчитывается средняя сумма:

$$S_{\text{сред}} = \frac{mn(m+1)}{2m} = 0,5n(m+1), \quad (1.4)$$

где n – число экспертов ($n=8$), m – число критериев ($m=5$).

$$S_{\text{сред}} = 0,5 \cdot 8 \cdot (5+1) = 24.$$

3. Находится алгебраическая разность между суммой рангов i -го критерия и средним значением:

$$d_i = S_i - S_{\text{сред}}. \quad (1.5)$$

4. Рассчитывается сумма квадратов алгебраических разностей:

$$K = \sum_{i=1}^m d_i^2. \quad (1.6)$$

| | A | B | C | D | E | F | G | H |
|----|---------------------------|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------|--------|
| 37 | 7 | =B27 | =C27 | =(D27+F27)/2 | =E27 | =(D27+F27)/2 | =СУММ(B37:F37) | |
| 38 | 8 | =B28 | =C28 | =D28 | =E28 | =F28 | =СУММ(B38:F38) | |
| 39 | Сумма ранг | =СУММ(B31:B38) | =СУММ(C31:C38) | =СУММ(D31:D38) | =СУММ(E31:E38) | =СУММ(F31:F38) | | $n= 8$ |
| 40 | $S_{\text{сред}}$ | =0,5*СИЗ39*(СИ\$40+1) | =0,5*СИЗ39*(СИ\$40+1) | =0,5*СИЗ39*(СИ\$40+1) | =0,5*СИЗ39*(СИ\$40+1) | =0,5*СИЗ39*(СИ\$40+1) | | $m= 5$ |
| 41 | $d_i=S_i-S_{\text{сред}}$ | =B39-B40 | =C39-C40 | =D39-D40 | =E39-E40 | =F39-F40 | | |
| 42 | d_i^2 | =B41*B41 | =C41*C41 | =D41*D41 | =E41*E41 | =F41*F41 | | |
| 43 | K | =СУММ(B42:F42) | | | | | | |
| 44 | $K_{\text{мах}}$ | =((I39*I39*(СТЕПЕНЬ(I40;3)-I40))/12) | | | | | | |
| 45 | $K_{\text{конк}}$ | =B43/B44 | > | 0,4 | | | | |

Рис. 1.10. Оценка согласованности мнений (Формулы / Показать формулы)

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
|----|---------------------------|------------|-----|-------|----|------|------|---|---|
| 37 | 7 | 1 | 5 | 2,5 | 4 | 2,5 | 15 | | |
| 38 | 8 | 1 | 5 | 3 | 4 | 2 | 15 | | |
| 39 | Сумма рангов S_i | 8 | 40 | 18,5 | 32 | 21,5 | $n=$ | | 8 |
| 40 | $S_{\text{сред}}$ | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | $m=$ | | 5 |
| 41 | $d_i=S_i-S_{\text{сред}}$ | -16 | 16 | -5,5 | 8 | -2,5 | | | |
| 42 | d_i^2 | 256 | 256 | 30,25 | 64 | 6,25 | | | |
| 43 | K | 612,5 | | | | | | | |
| 44 | $K_{\text{мах}}$ | 640 | | | | | | | |
| 45 | $K_{\text{конк}}$ | 0,95703125 | > | 0,4 | | | | | |

Рис. 1.11. Результат оценки согласованности мнений

Сумма квадратов алгебраических разностей (1.6):

$$K = 256 + 256 + 30,25 + 64 + 6,25 = 612,5.$$

В теории экспертных оценок показано, что если мнение всех экспертов совпадают, а среди рангов, данных экспертами нет одинаковых, то средний квадрат алгебраических разностей максимален и равен:

$$K_{\text{мах}} = \frac{1}{12} n^2 \cdot (m^3 - m), \quad K_{\text{мах}} = \frac{1}{12} 8^2 \cdot (5^3 - 5) = 640.$$

Рассчитывается коэффициент конкордации:

$$K_{\text{конк}} = \frac{K}{K_{\text{мах}}} = \frac{612,5}{640} = 0,957.$$

Если коэффициент конкордации равен или близок к 0, то это означает практически полную несогласованность мнений экспертов.

При приближении коэффициента конкордации к единице можно говорить о единстве мнений экспертов.

В нашем примере коэффициент конкордации $>0,4$ и мы можем перейти к следующему этапу, который предусматривает количественное определение доли каждого критерия c_{ji} (рис. 1.12).

Переход от ранга к оценке производится с учетом линейной зависимости между рангом и ценностью критерия (чем ниже ранг, тем выше ценность критерия):

$$c_{ji} = 1 - (r_{ji} - 1)/m, \quad (1.7)$$

где c_{ji} определяет значимость i -го критерия j -тым экспертом ($j=1,2,\dots,n$); r_{ji} – ранг i -го критерия.

| | A | B | C | D | E | F | G |
|----|-------------------------------|-----------|-------------|------------|----------------------------------|--------------------------|-----------------------|
| 47 | $c_{ij} = 1 - (r_{ij} - 1)/m$ | | | | | | |
| 48 | № эксперта | Цена, руб | Год выпуска | Пробег, км | Объем двигателя, см ³ | Мощность двигателя, л.с. | Сумма Σc_{ij} |
| 49 | 1 | 1 | 0,2 | 0,7 | 0,4 | 0,7 | 3 |
| 50 | 2 | 1 | 0,2 | 0,8 | 0,4 | 0,6 | 3 |
| 51 | 3 | 1 | 0,2 | 0,8 | 0,4 | 0,6 | 3 |
| 52 | 4 | 1 | 0,2 | 0,8 | 0,4 | 0,6 | 3 |
| 53 | 5 | 1 | 0,2 | 0,7 | 0,4 | 0,7 | 3 |
| 54 | 6 | 1 | 0,2 | 0,8 | 0,4 | 0,6 | 3 |
| 55 | 7 | 1 | 0,2 | 0,7 | 0,4 | 0,7 | 3 |
| 56 | 8 | 1 | 0,2 | 0,6 | 0,4 | 0,8 | 3 |

| | A | B | C | D | E | F | G |
|----|-------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------------------|--------------------------|-----------------------|
| 47 | $c_{ij} = 1 - (r_{ij} - 1)/m$ | | | | | | |
| 48 | № эксперта | Цена, руб | Год выпуска | Пробег, км | Объем двигателя, см ³ | Мощность двигателя, л.с. | Сумма Σc_{ij} |
| 49 | 1 | =1-(B31-1)/\$IS\$40 | =1-(C31-1)/\$IS\$40 | =1-(D31-1)/\$IS\$40 | =1-(E31-1)/\$IS\$40 | =1-(F31-1)/\$IS\$40 | =СУММ(B49:F49) |
| 50 | 2 | =1-(B32-1)/\$IS\$40 | =1-(C32-1)/\$IS\$40 | =1-(D32-1)/\$IS\$40 | =1-(E32-1)/\$IS\$40 | =1-(F32-1)/\$IS\$40 | =СУММ(B50:F50) |
| 51 | 3 | =1-(B33-1)/\$IS\$40 | =1-(C33-1)/\$IS\$40 | =1-(D33-1)/\$IS\$40 | =1-(E33-1)/\$IS\$40 | =1-(F33-1)/\$IS\$40 | =СУММ(B51:F51) |
| 52 | 4 | =1-(B34-1)/\$IS\$40 | =1-(C34-1)/\$IS\$40 | =1-(D34-1)/\$IS\$40 | =1-(E34-1)/\$IS\$40 | =1-(F34-1)/\$IS\$40 | =СУММ(B52:F52) |
| 53 | 5 | =1-(B35-1)/\$IS\$40 | =1-(C35-1)/\$IS\$40 | =1-(D35-1)/\$IS\$40 | =1-(E35-1)/\$IS\$40 | =1-(F35-1)/\$IS\$40 | =СУММ(B53:F53) |
| 54 | 6 | =1-(B36-1)/\$IS\$40 | =1-(C36-1)/\$IS\$40 | =1-(D36-1)/\$IS\$40 | =1-(E36-1)/\$IS\$40 | =1-(F36-1)/\$IS\$40 | =СУММ(B54:F54) |
| 55 | 7 | =1-(B37-1)/\$IS\$40 | =1-(C37-1)/\$IS\$40 | =1-(D37-1)/\$IS\$40 | =1-(E37-1)/\$IS\$40 | =1-(F37-1)/\$IS\$40 | =СУММ(B55:F55) |
| 56 | 8 | =1-(B38-1)/\$IS\$40 | =1-(C38-1)/\$IS\$40 | =1-(D38-1)/\$IS\$40 | =1-(E38-1)/\$IS\$40 | =1-(F38-1)/\$IS\$40 | =СУММ(B56:F56) |

Рис. 1.12. Определение c_{ji}

Эти числа масштабируются, в результате чего получают набор коэффициентов:

$$\lambda_{ji} = \frac{c_{ji}}{\sum_{i=1}^m c_{ji}}, \sum_{i=1}^m \lambda_{ji} = 1 \quad (1.8)$$

Затем, после масштабирования c_{ji} (1.8), определяем коэффициенты значимости критериев λ_i (1.9) (рис. 1.13).

После усреднения значений λ_{ji} всех n экспертов получают искомые значения коэффициентов значимости

$$\lambda_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \lambda_{ji}. \quad (1.9)$$

| | A | B | C | D | E | F | G |
|----|--|-----------|-------------|------------|----------------------------------|--------------------------|----------------------|
| 58 | $\lambda_{ji} = \frac{c_{ji}}{\sum_{i=1}^m c_{ji}}, \sum_{i=1}^m \lambda_{ji} = 1$ | | | | | | |
| 59 | № эксперта | Цена, руб | Год выпуска | Пробег, км | Объем двигателя, см ³ | Мощность двигателя, л.с. | Сумма λ_{ij} |
| 60 | 1 | 0,33 | 0,07 | 0,23 | 0,13 | 0,23 | 1 |
| 61 | 2 | 0,33 | 0,07 | 0,27 | 0,13 | 0,20 | 1 |
| 62 | 3 | 0,33 | 0,07 | 0,27 | 0,13 | 0,20 | 1 |
| 63 | 4 | 0,33 | 0,07 | 0,27 | 0,13 | 0,20 | 1 |
| 64 | 5 | 0,33 | 0,07 | 0,23 | 0,13 | 0,23 | 1 |
| 65 | 6 | 0,33 | 0,07 | 0,27 | 0,13 | 0,20 | 1 |
| 66 | 7 | 0,33 | 0,07 | 0,23 | 0,13 | 0,23 | 1 |
| 67 | 8 | 0,33 | 0,07 | 0,20 | 0,13 | 0,27 | 1 |
| 68 | λ_i | 0,33 | 0,07 | 0,25 | 0,13 | 0,22 | 1 |

| | A | B | C | D | E | F | G |
|----|--|------------------|------------------|------------------|----------------------------------|--------------------------|----------------------|
| 58 | $\lambda_{ji} = \frac{c_{ji}}{\sum_{i=1}^m c_{ji}}, \sum_{i=1}^m \lambda_{ji} = 1$ | | | | | | |
| 59 | № эксперта | Цена, руб | Год выпуска | Пробег, км | Объем двигателя, см ³ | Мощность двигателя, л.с. | Сумма λ_{ij} |
| 60 | 1 | =B49/\$G\$49 | =C49/\$G\$49 | =D49/\$G\$49 | =E49/\$G\$49 | =F49/\$G\$49 | =СУММ(B60:F60) |
| 61 | 2 | =B50/\$G\$50 | =C50/\$G\$50 | =D50/\$G\$50 | =E50/\$G\$50 | =F50/\$G\$50 | =СУММ(B61:F61) |
| 62 | 3 | =B51/\$G\$51 | =C51/\$G\$51 | =D51/\$G\$51 | =E51/\$G\$51 | =F51/\$G\$51 | =СУММ(B62:F62) |
| 63 | 4 | =B52/\$G\$52 | =C52/\$G\$52 | =D52/\$G\$52 | =E52/\$G\$52 | =F52/\$G\$52 | =СУММ(B63:F63) |
| 64 | 5 | =B53/\$G\$53 | =C53/\$G\$53 | =D53/\$G\$53 | =E53/\$G\$53 | =F53/\$G\$53 | =СУММ(B64:F64) |
| 65 | 6 | =B54/\$G\$53 | =C54/\$G\$53 | =D54/\$G\$53 | =E54/\$G\$53 | =F54/\$G\$53 | =СУММ(B65:F65) |
| 66 | 7 | =B55/\$G\$55 | =C55/\$G\$55 | =D55/\$G\$55 | =E55/\$G\$55 | =F55/\$G\$55 | =СУММ(B66:F66) |
| 67 | 8 | =B56/\$G\$56 | =C56/\$G\$56 | =D56/\$G\$56 | =E56/\$G\$56 | =F56/\$G\$56 | =СУММ(B67:F67) |
| 68 | λ_i | =СРЗНАЧ(B60:B67) | =СРЗНАЧ(C60:C67) | =СРЗНАЧ(D60:D67) | =СРЗНАЧ(E60:E67) | =СРЗНАЧ(F60:F67) | =СУММ(B68:F68) |

Рис. 1.13. Определение λ_i

В некоторых случаях экспертам присваиваются веса g_j , учитывающие компетентность каждого из них. Тогда

$$\lambda_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n g_j \lambda_{ji}, \quad \sum_{j=1}^n g_j = 1.$$

ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Задание 1

Используя экспертные методы (*непосредственного назначения весов, метод парных сравнений, метод ранжировок*), определить коэффициенты значимости критериев для предложенных проблем (табл. 1).

Таблица 1

| Вариант | Проблема | Критерии |
|---------|-----------------------------------|---|
| 1 | Выбор смарт-телевизора | Цена (руб.); вес (кг); диагональ (см); потребляемая мощность (Вт); тип дистанционного управления; страна-изготовитель; поддержка 3D |
| 2 | Выбор горного велосипеда | Цена (руб.); материал рамы; размер рамы ("); диаметр колеса ("); количество скоростей (шт.); максимальный вес пользователя (кг); вес велосипеда (кг); гарантия (лет) |
| 3 | Выбор экшн-камеры | Цена (руб.); количество объективов; фронтальный дисплей; диагональ дисплея (дюйм); звук; емкость аккумулятора (мА·ч); максимальный объем карты памяти (Гб); разрешение матрицы (Мпикс); максимальное разрешение фотосъемки (Пикс) |
| 4 | Выбор смартфона | Цена (руб.); страна бренда; диагональ экрана (дюйм); тактовая частота процессора (МГц); объем встроенной памяти (Гб); максимальный объем карты памяти (Гб); объем оперативной памяти (Гб); основная камера (Мпикс.); дополнительные опции смартфона |
| 5 | Выбор электрической соковыжималки | Цена (руб.); страна бренда; мощность (Вт); максимальная скорость вращения (об/мин); вес без упаковки (кг); высота предмета (см); глубина предмета (см); ширина предмета (см); объем резервуара для мякоти (мл); объем резервуара для сока (мл) |
| 6 | Выбор видеорегистратора | Цена (руб.); страна бренда; максимальный объем карты памяти (Гб); время работы от аккумулятора (час); диагональ экрана ("); основная камера (Мпикс); вес товара без упаковки (г); угол обзора камеры (градусов); максимальная частота кадров (кадр/с) |
| 7 | Выбор телевизора | Цена (руб.); страна бренда; разрешение экрана; частота обновления (Гц); диагональ (дюйм); яркость (кд/кв.м); количество портов USB (шт.); количество портов HDMI (шт.); вес без упаковки (кг) |
| 8 | Выбор кофемашины | Цена (руб.); страна бренда; гарантийный срок (лет); мощность (Вт); объем емкости для воды (л); |

| | | |
|----|---|--|
| | | вес без упаковки (кг); высота предмета (см); глубина предмета (см); ширина предмета (см); виды кофе |
| 9 | Выбор 3-х и 4-х комнатных квартир в городе Челябинске | Район; количество комнат; площадь (m^2); этаж; материал стен; стоимость (тыс. руб.) |
| 10 | Выбор мойки высокого давления | Стоимость (руб.); мощность (Вт); максимальный напор (л/ч); максимальная температура на входе (град.); давление (бар.) |
| 11 | Выбор оптимального места отдыха | Общая стоимость тура (руб.); валюта; безопасность в стране (политические конфликты, опасная флора и фауна); звездность отеля (*); комфортабельность отеля (входит ли завтраки, обеды, ужины в стоимость); необходимость оформления визы |
| 12 | Выбор модели электрической газонокосилки | Мощность (Вт); высота кошения верхняя (мм); высота кошения нижняя (мм); ширина кошения (мм); вес (кг); объем травосборника (л); цена (руб.) |
| 13 | Выбор модели самолета | Дата выпуска (год); крейсерская скорость (км/ч); дальность полета (км); цена (\$); общая вместимость (чел.); общий налет (час); количество циклов; ширина салона (м); длина салона (м) |
| 14 | Выбор телефона | Цена (руб.); камера (Мпикс); фронтальная камера (Мпикс); оперативная память (Гб); встроенная память (Гб); емкость аккумулятора (мАч); частота процессора (ГГц); диагональ экрана (см) |
| 15 | Выбор автомобиля | Цена (тыс. руб.); объем двигателя (л); расход топлива (город) (л/100 км); расход топлива (трасса) (л/100 км); максимальная скорость (км/ч); время разгона 0-100 км (с); максимальная допустимая нагрузка (кг); мощность (л.с.); количество передач |
| 16 | Выбор ноутбука | Цена (руб.); частота памяти (МГц); тип процессора; количество ядер; тактовая частота (ГГц); RAM (Гб); работа от аккумулятора (ч.); вес (кг); диагональ экрана (дюйм) |
| 17 | Выбор тренажерного зала | Стоимость абонемента на месяц (руб.); стоимость абонемента на год (руб.); стоимость разового посещения (руб.); количество филиалов; режим работы; наличие филиала в центре; групповые занятия; бассейн |
| 18 | Выбор квартиры в г. Челябинске для обустройства офиса | Район; количество комнат; площадь (m^2); серия; стоимость (тыс.руб.) |
| 19 | Выбор мультиварки | Объем (л); мощность (Вт); покрытие чаши; вес (кг); программы; функции; цена (руб.) |

| | | |
|----|---|---|
| 20 | Выбор интернет-провайдера | Стоимость в месяц (руб.); входящая скорость (Мбит/с); исходящая скорость (Мбит/с); аренда Wi-Fi роутера; стоимость роутера (руб.); стоимость подключения (руб.); количество каналов SD; количество каналов HD |
| 21 | Выбор робота-пылесоса | Цена (руб.); мощность всасывания (Вт); объем пылесборника (л); уровень шума (Дб); вес (кг); время зарядки (мин); время работы от аккумулятора (мин) |
| 22 | Выбор цифрового фотоаппарата со сменной оптикой | Цена (руб.); число эффективных мегапикселей матрицы; максимальное разрешение изображения; максимальное разрешение видеозаписи; скорость съемки (кадр/сек); максимальная частота кадров видеоролика |
| 23 | Выбор гироскутера | Цена (руб.); мощность двигателя (Вт); максимальная скорость (км/ч); запас хода (км); диаметр колес (см); максимальная нагрузка (кг); максимальный угол подъема (°); вес (кг); время зарядки (ч.) |
| 24 | Выбор электросамоката | Цена (руб.); мощность двигателя (Вт); максимальная скорость (км/ч); запас хода (км); диаметр колес (см); максимальная нагрузка (кг); вес (кг); время зарядки (ч.) |
| 25 | Выбор встраиваемой стиральной машины | Цена (руб.); уровень шума при стирке (Дб); уровень шума при отжиге (Дб); максимальная загрузка (кг); максимальная скорость отжима (об/мин); количество программ стирки; вес (кг); ширина (см); глубина (см) |
| 27 | Выбор для покупки квартиры в городе Сочи | Количество комнат; общая площадь (м ²); этаж; охрана; инфраструктура; расстояние до моря (м); стоимость (руб.) |
| 28 | Выбор GPS-навигатора | Размер экрана (дюйм); разрешение экрана (Пикс); операционная систем; объем встроенной памяти (Мб); объем оперативной памяти (Мб); Wi-Fi; стоимость (руб.) |
| 29 | Выбор лазерного принтера | Количество цветов; разрешение печати (dpi); скорость печати (стр./мин); объем встроенной памяти (Мб); частота процессора (МГц); вес (кг); стоимость (руб.) |
| 30 | Сформулировать приближенную к реальности задачу выбора (страховой компании, места отдыха, места работы и т.п.). | Предложить обоснованный список 6-8 частных критериев для оценки альтернативных вариантов решения. |