

УДК 622-1:[658. 512. 2:331.101.1]

В.С. Великанов

ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДА ПАРНЫХ СРАВНЕНИЙ В УСТАНОВЛЕНИИ ЗНАЧИМОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГОРНЫХ МАШИН И КОМПЛЕКСОВ ПО КРИТЕРИЮ ЭРГОНОМИЧНОСТИ

В настоящее время эргономическая экспертиза стала обязательным этапом при исследовании, проектировании и эксплуатации элементов системы «человек – горная машина – среда». Целью экспертизы является определение соответствия достигнутых показателей качества общим и частным эргономическим требованиям и установления эргономического уровня качества всей системы. Как правило, результаты экспертизы носят качественный и субъективный характер, и во многом определяются профессиональным уровнем и опытом лица, проводившего оценку [1, 2].

Экспертные оценки отражают опыт и знания специалистов относительно исследуемого объекта. Суть экспертных методов заключается в том, чтобы используя опыт, знания, интуицию специалистов извлечь из субъективных суждений объективную истину. Существует много разновидностей экспертных методов, но большинство из них могут быть сведены к двум классам: методам прямого ранжирования и методам попарного сравнения. Наилучшими с точки зрения точности выводов являются методы прямого ранжирования, однако они ограничены человеческими возможностями: при числе объектов сравнения 12 - 15 никакой эксперт не в состоянии проранжировать их правильно.

Работами [3-5] установлено влияние комплексных эргономических показателей на обоб-

щенный эргономический показатель ($K_{\text{ср}}^e$), характеризующий степень соответствия горной машины эргономическим требованиям (табл. 1).

В развитии дальнейших исследований нами использован метод парных сравнений. Метод парных сравнений широко применяется для определения показателей значимости объектов относительно выбранного качественного критерия при их незначительных отличиях. Отсутствие необходимости постоянно держать в поле зрения все факторы или, по крайней мере, группу однородных факторов, позволяет эксперту сконцентрировать внимание на конкретной проблеме: насколько фактор A_i превосходит фактор B_j или уступает ему. Вследствие этого следует ожидать более точных результатов [7, 8].

Опишем метод парных сравнений (точнее модификацию по Т. Саати). В данной модификации, как и в классическом варианте метода парных сравнений, производится сравнение изучаемых факторов между собой. Причем в данном методе факторы сравниваются попарно по отношению к их воздействию («весу», или «интенсивности») на общую для них характеристику. Обозначим множество сравниваемых элементов: $C_1, C_2, C_3 \dots C_n$. Веса этих элементов обозначим, соответственно: $V_1, V_2, V_3 \dots V_n$. Результаты сравнения представляются в виде матрицы парных сравнений (табл. 2) [8].

Таблица 1. Метод и результаты исследований

<p><i>Прямая расстановка.</i> Экспертам предлагается расставить весовые коэффициенты K_i при соответствующих факторах, исходя из условия</p> $\sum_{i=1}^n K_i = 1 \text{ (или } 100\%)$	<p>m_1, m_2, m_3, m_4 - коэффициенты весомости соответствующих комплексных показателей ($m_1=0,4; m_2=0,3; m_3=0,25; m_4=0,05$); K_1, K_2, K_3, K_4 – комплексные показатели обеспечения управляемости, обитаемости, обслуживаемости, осваиваемости;</p> $K_{\text{ср}}^e = m_1 K_1 + m_2 K_2 + m_3 K_3 + m_4 K_4, [5].$																																				
<p><i>Ранжирование факторов.</i> Экспертам требуется провести ранжирование, т. е. упорядочить обследуемые факторы, формирующие объект, по степени проявления их свойств в порядке их возрастания или убывания. Результаты ранжирования n факторов m экспертов можно представить в виде матрицы.</p>	<p>Итоговая ранжировка $K_1 < K_2 < K_3 < K_4 < K_5$ влияния на $K_{\text{ср}}^e$ по методу средних арифметических рангов и методу медиан [6].</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>K₁</th> <th>K₂</th> <th>K₃</th> <th>K₄</th> <th>K₅</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Сумма рангов</td> <td>20</td> <td>26</td> <td>37</td> <td>43</td> <td>46</td> </tr> <tr> <td>Среднее арифметическое рангов</td> <td>1,75</td> <td>2,25</td> <td>3,08</td> <td>3,58</td> <td>3,83</td> </tr> <tr> <td>Итоговый ранг по среднему арифметическому</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Медианы рангов</td> <td>1,25</td> <td>1,75</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Итоговый ранг по медианам</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>4</td> </tr> </tbody> </table>		K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	Сумма рангов	20	26	37	43	46	Среднее арифметическое рангов	1,75	2,25	3,08	3,58	3,83	Итоговый ранг по среднему арифметическому	1	2	3	4	5	Медианы рангов	1,25	1,75	3	4	4	Итоговый ранг по медианам	1	2	3	4	4
	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅																																
Сумма рангов	20	26	37	43	46																																
Среднее арифметическое рангов	1,75	2,25	3,08	3,58	3,83																																
Итоговый ранг по среднему арифметическому	1	2	3	4	5																																
Медианы рангов	1,25	1,75	3	4	4																																
Итоговый ранг по медианам	1	2	3	4	4																																

Таблица 2.Матрица парных сравнений

	C ₁	C ₂	...	C _n
C ₁	1	V ₁ / V ₂	...	V ₁ / V _n
C ₂	V ₂ / V ₁	1	...	V ₂ / V _n
...
C _n	V _n / V ₁	V _n / V ₂	...	V _n / V _n

Следует отметить, сравнивается относительная важность левых элементов матрицы с элементами сверху, поэтому диагональ матрицы содержит только единицы. Если веса элементов V₁, V₂, V₃...V_n заранее неизвестны, то сравнения производится с использованием субъективных суждений, оцениваемых по шкале относительной важности (табл. 3) [8, 9].

Далее происходит обработка полученных данных и синтез вектора приоритетов, который ранжирует рассматриваемые альтернативы, с точки зрения их предпочтительности. Для этого находят векторы локальных приоритетов для каждой из полученных матриц сравнения. Искомый вектор локальных приоритетов *w* будет равен собственному вектору для максимального собственного значения соответствующей матрицы, нормализованному к единице.

Таблица 3. Шкала выявления относительной важности сравниваемых элементов

Интенсивность относительной важности	Определение
0	варианты несравнимы
1	равная важность
3	умеренное превосходство одного над другим
5	существенное или сильное превосходство
7	значительное превосходство
9	очень сильное превосходство
2,4,6,8	промежуточные решения между 2 соседними суждениями

Т. Саати предложил упрощенную процедуру вычисления вектора *w*. Пусть *v* – вектор геометрических средних строк некоторой матрицы сравнения:

$$v = \begin{bmatrix} \sqrt[n]{a(1,1) \times \dots \times a(1,n)} \\ \dots \\ \sqrt[n]{a(n,1) \times \dots \times a(n,n)} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Тогда вектор *w* будет определяться следующим образом:

Таблица 4. Значения случайной согласованности для разных размеров матрицы согласий

Размер матрицы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Случайная согласованность	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

$$w = \begin{bmatrix} v_1 \\ \frac{v_1}{\sum_{i=1}^n v_i} \\ \dots \\ \frac{v_n}{\sum_{i=1}^n v_i} \end{bmatrix} \quad (v_1, \dots, v_n - \text{элементы вектора } v) \quad (2)$$

Вектор локальных приоритетов составляется для каждой матрицы сравнения и характеризует относительную силу влияния каждого отдельного критерия на данном уровне иерархии без учета информации с других уровней. После определения локальных векторов приоритета для всех матриц сравнения производится синтез общих векторов приоритетов *W*, характеризующих степень влияния каждого объекта на данном уровне иерархии с учетом информации вышестоящих уровней.

Следующим этапом является проверка надежности полученных результатов. Для проверки надежности полученных результатов используются показатели индекса согласованности (*IC*) и отношения согласованности (*OC*). Индекс согласованности, дает информацию о степени нарушения численной (кардинальной) и транзитивной (порядковой) согласованности экспертов суждений.

Индекс согласованности определяется из выражения

$$IC = \lambda_{max} - n/n-1, \quad (3)$$

где λ_{max} – наибольшее собственное значение матрицы суждений, *n* - число сравниваемых факторов.

Для обратно симметричной матрицы всегда выполняется условие $\lambda_{max} \geq n$.

Отношение согласованности характеризует качество эксперта и оценивается из выражения

$$OC = IC/CC * 100\%, \quad (4)$$

где *CC* - случайная согласованность.

Чтобы быть приемлемой, величина *OC* рекомендуется порядка 10% или менее. В некоторых случаях, когда рассматривается сложная и зависящая от большого количества факторов система, можно установить верхнюю границу, равную 20%, но не более. Если *OC* выходит за эти пределы, то результаты работы таких экспертов рекомендуется исключить из рассмотрения.

Случайная согласованность является табличной величиной и зависит от количества сравниваемых элементов (табл. 4) [8].

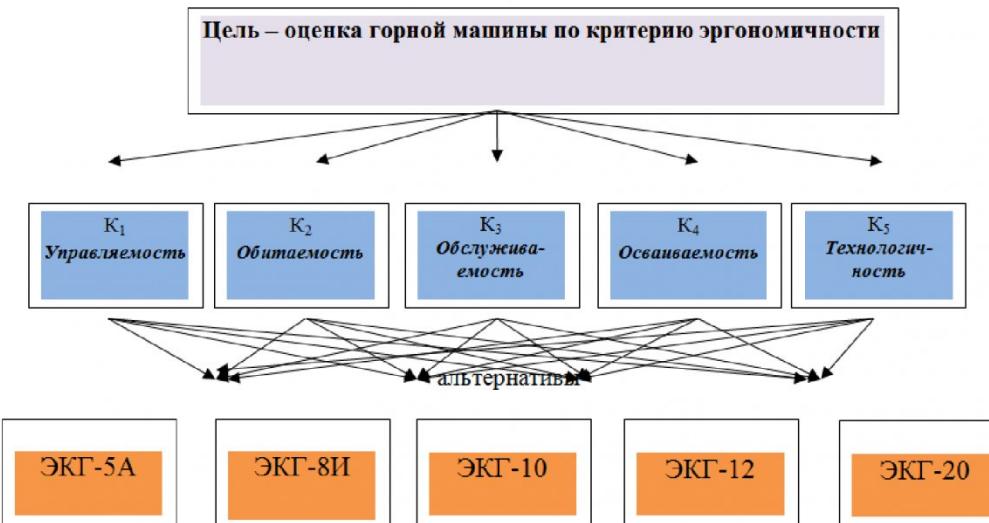


Рис.1. Декомпозиция задачи в иерархию

Метод парных сравнений предполагает поэтапное выполнение расчетов, приступая к оценке горных машин по критерию эргономичности, необходимо решить 2 задачи: сформировать группу экспертов и разработать систему критериев (эргономических показателей), по которым будет выполняться анализ (рис. 1) [10].

Количество экспертов примем равным 7 человекам. Это независимые квалифицированные специалисты, имеющие опыт работы в горной промышленности. Оценка выполняется по показателям: управляемость, обитаемость в кабине оператора, обслуживаемость, осваиваемость и технологичность.

Необходимо заметить, что каждый из перечисленных показателей имеет разную степень значимости. Соответственно, на первом этапе необходимо оценить значимость каждого с точки зрения членов экспертной группы. Каждый эксперт должен, во-первых, провести попарное сравнение важности используемых показателей оценки, а затем выполнить попарное сравнение имеющихся альтернатив с точки зрения каждого из показателей. Аналогичным образом проводится опрос других экспертов и оценивается согласованность их мнений. Затем результаты опросов усредняются, и формируется коллективное мнение членов экспертной группы (по формуле средней

арифметической простой) рис. 2.

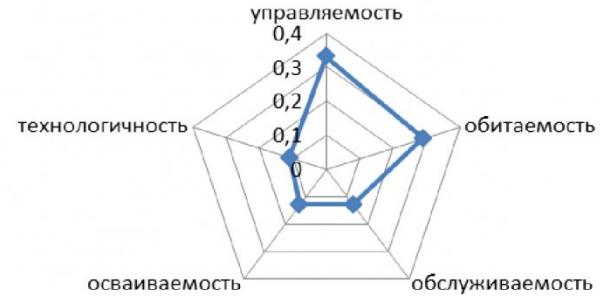


Рис.2. Коэффициенты значимости соответствующих комплексных эргономических показателей

Определение приоритетов горных машин по показателю управляемости (K_1). Перед экспертом ставится вопрос: «Как Вы считаете, у какой горной машины X или Y более высокая управляемость? В какой степени (превосходство слабое, значительное, очень сильное)?». Процедура определения приоритетов по K_1 полностью идентична описанной выше, при этом оцениваются конкретные горные машины (например: экскаваторы типа – ЭКГ). Выбор для сравнения отечественных экскаваторов не случаен, так как исследованиями [5, 6] установлено, что выпускаемые отечественные

Таблица 5. Итоговая матрица распределения экскаваторов по K_1

карьерные экскаваторы продолжают уступать в эргономическом обеспечении зарубежным аналогам.

Аналогично заполняются матрицы для остальных экспертов, и определяется обобщенная оценка членов экспертной группы (табл. 5).

Далее проводятся аналогичные опросы экспертов по остальным эргономическим показателям (K_2 , K_3 , K_4 , K_5) и на заключительном этапе определяется глобальный приоритет рассматриваемых типов экскаваторов по всем показателям с учетом их значимости (рис.3).

Подводя итог, следует отметить, что полученные результаты работы вполне соотносятся с проводимыми ранее исследованиями и позволяют разработать методику проведения оценки соответст-

Ранжирование экскаваторов по критерию эргономичности

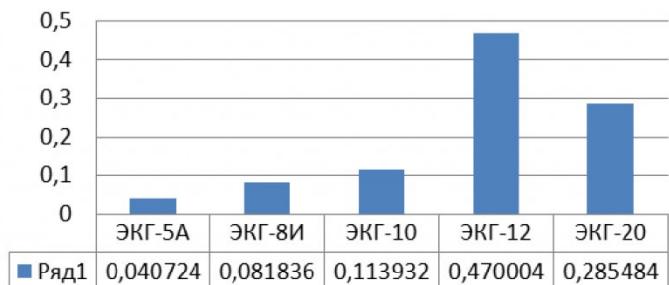


Рис.3. Итоговая ранжировка представленных моделей экскаваторов

вия экскаваторной техники эргономическим требованиям нормативных документов с получением численных характеристик уровня их несоответствия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Великанов В.С., Шабанов А.А. Эргономическая экспертиза элементов системы «человек – карьерный экскаватор – среда» // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: МГГУ, 2011. – ОВ №9. – С.148-155.
2. Великанов В.С., Шабанов А.А. Использование нечеткого логического вывода для оценки эргономических показателей карьерных экскаваторов // Перспективы развития горно-транспортного оборудования: Сборник статей. Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня. – М.: изд-во «Горная книга», 2012. – ОВ №.2 – С.145-152.
3. Великанов В.С., Шабанов А.А. О перспективах исследований в области эргономического обеспечения отечественных карьерных экскаваторов // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып.4. Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. – С. 19-29.
4. Великанов В.С., Шабанов А.А., Савельев В.И. Новые подходы в определении эргономичности карьерных экскаваторов // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: Сб. науч. тр. – Екатеринбург: ФГБОУ ВПО «УГГУ» 2012. – С. 27-32.
5. Хусаинов В.Г. Обоснование и расчет эргономических показателей карьерных гусеничных экскаваторов производства ОАО «Уралмаш»: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Екатеринбург: УГГУ, 2006. – 20 с.
6. Великанов В.С. Реализация подходов по совершенствованию эргономических показателей карьерных экскаваторов: Монография. – Магнитогорск: ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2011. – 85 с.
7. Сеченов И. М. Элементы мысли. СПб.: Питер, 2001. –404 с.
8. Саати Т. Принятие решений. Метод анализ иерархий: [Пер. с англ.] / Т. Саати. - М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.
9. Дэвид Г. Метод парных сравнений: Пер. с англ. Н. Космарской и Д. Шмерлинга. - М.: Статистика, 1978. – 144 с.
10. Великанов В.С., Шабанов А.А. Метод анализа иерархий в установлении значений весовых коэффициентов эргономических показателей карьерных экскаваторов // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики Сб. науч. тр. – Тула: ГОУ ВПО «ТулГУ» 2012. – Т1, С. 238-244.

□ Авторы статьи:

Великанов

Владимир Семенович,
канд. техн. наук, доцент каф.
горных машин и транспортно-
технологических комплексов (Маг-
нитогорский гос.техн.. ун-т им. Г.И.
Носова). Email: rizhik_00@mail.ru