

УДК 519.854.2

Э.Ю. Прокуда

ГВУЗ «Национальный горный университет», Днепропетровск

## СРАВНЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ И ЭКСПЕРТНЫХ МЕТОДОВ ПРИ ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ БАЗОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ

В данной статье выполнено сравнение методов определения весовых коэффициентов локальных критериев для базовых элементов карьерных автосамосвалов расчетными и экспертными методами. Расчеты производятся на основании метода парных сравнений. Экспертных и расчетных методов представлено по четыре вида. Для выполнения анализа взято восемь базовых элементов карьерного автосамосвала. Приведен пример расчета оценки состояния карьерных автосамосвалов.

**Ключевые слова:** весовые коэффициенты, карьерные автосамосвалы, метод парных сравнений, эксперт.

### Введение

**Постановка проблемы.** Карьерный автосамосвал состоит из множества элементов и каждый из них важен, ведь при поломке какого-либо агрегата выйдет из строя весь автосамосвал. Но все же некоторые агрегаты важнее других, так как поломка одних элементов останавливает работу автосамосвала на день, а другого – на несколько недель, и затраты на их ремонт несоизмеримы.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Метод парных сравнений [1] используется во многих сферах науки и техники. В работе Фурцева Д.Г. рассмотрена оптимизация расчетов на основе МАИ [2], а в работах Власова Ю.А. и Ляпина А.Н. [3] метод парных сравнений используется для выбора диагностического оборудования. Однако, не обнаружено использования этого метода для оценки важности базовых элементов (агрегатов) автосамосвалов для определения их состояния.

**Формулирование цели статьи.** В данной статье рассмотрен сравнительный анализ методов определения весовых коэффициентов локальных критериев с помощью экспертов и расчетным путем посредством учета составляющей ремонта.

### Изложение основного материала

Существует множество способов получения весовых коэффициентов. Рассмотрим наиболее распространенный в экспертном оценивании метод парного сравнения. Суть метода парных сравнений заключается в необходимости сравнивать изучаемые (анализируемые) объекты между собой. Объекты следует сравнивать попарно по отношению к их воздействию или весу на общую для них характеристику.

Существует несколько экспертных методов, использующих парное сравнение [1]: классический метод парного сравнения; метод парного сравнения критериев на основе фиксированного предпочтения; метод парного сравнения критериев на основе плавающего предпочтения; метод парного сравнения

критериев на основе экспоненциально плавающего предпочтения.

Кроме экспертных методов в работе рассматриваются расчетные методы, основанные на затратной составляющей ремонта базовых элементов (агрегатов) карьерного автосамосвала: парное сравнение количества поломок; парное сравнение часов простоя; парное сравнение затрат на ремонт (оплата труда ремонтников и затраты на новые детали); парное сравнение общих затрат на ремонт (простой и затраты на ремонт).

Рассмотрим каждый метод в отдельности.

**Классический метод парного сравнения.** При использовании классического метода парного сравнения элементам матрицы парного сравнения следует присвоить следующие значения:

$$k_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если критерий } i \text{ более важен чем } j; \\ 0, & \text{если критерий } i \text{ менее важен чем } j; \\ 0,5, & \text{если критерии } i \text{ и } j \text{ одинаково важны,} \end{cases} \quad (1)$$

здесь  $k_{ij} + k_{ji} = 1$ , а на главной диагонали ставят 1.

Далее вычисляем уровни важности каждого из критериев, суммарный уровень их важности и веса отдельных критериев по формулам:

$$k_i = \sum_{j=1}^n k_{ij}; \quad (2)$$

$$k_c = \sum_{i=1}^n k_i; \quad (3)$$

$$\alpha_i = \frac{k_i}{k_c}. \quad (4)$$

**Метод парного сравнения на основании фиксированного предпочтения.** Используя этот метод элементам матрицы парного сравнения следует присвоить следующие значения:

$$k_{ij} = \begin{cases} 1,5, & \text{если критерий } i \text{ более важен чем } j; \\ 0,5, & \text{если критерий } i \text{ менее важен чем } j; \\ 1, & \text{если критерии } i \text{ и } j \text{ одинаково важны.} \end{cases} \quad (5)$$

Здесь на главной диагонали стоят 1, но при  $i \neq j$  выполняется уже условие  $k_{ij} + k_{ji} = 2$ .

В данном методе весовые коэффициенты также рассчитываются по формулам (2) – (4).

Метод парного сравнения на основе плавающего предпочтения. Рассматриваемый метод является основополагающим в методе анализа иерархии. Эксперту необходимо поочередно сформировать предпочтения (важности) одного критерия над другим. Заполнять таблицу необходимо на основании табл. 1.

Таблица 1

Шкала относительной важности критериев

Качественная относительная важность критериев	Количественная относительная важность критериев
Равная важность	1
Немного важнее	3
Важнее	5
Заметно важнее	7
Намного важнее	9
Промежуточные значения	2, 4, 6, 8

Если критерий не доминирует, то тогда в ячейку записывают обратное значение  $1/k_{ij}$ .

В данном методе весовые коэффициенты определяются иначе. Собственные векторы  $C_i$  и весовые коэффициенты находят по формулам:

$$C_i = (k_{i1} \cdot k_{i2} \cdot \dots \cdot k_{in})^{1/n} \quad (6)$$

$$\alpha_i = C_i / \sum_{i=1}^n C_i \quad (7)$$

Используя метод парного сравнения с плавающим предпочтением, следует проверять матрицу на согласованность суждений.

Метод парного сравнения на основе экспоненциального плавающего предпочтения. Этот метод имеет общие черты с ранее рассмотренными. Ниже (в табл. 2) представлена вербальная шкала относительной важности критериев (количественного и качественного превосходства), где  $p$  – показатель, который определяет уровень превосходства критериев. В нашей ситуации уровень градации равен 2, то есть  $e^p = 2$ , следовательно  $p = 0,7$ .

При использовании этого метода составляются две матрицы. В первой матрице рассматривается количественные значения превосходства в баллах ( $\delta_{ij}$ ), а во второй матрице полученные значения  $k_{ij}$ .

Рассмотрим восемь основных (базовых) элементов (агрегатов) карьерного автосамосвала: двигатель (A1); ГМП (A2); подвеска (A3); рама (A4); шины (A5); трансмиссия (A6); электрооборудование (A7); рулевое управление (A8).

Рассмотрим сначала методы расчетные, основанные на затратной составляющей ремонта затраты по всем агрегатам. Для этого составим табл. 3:

Таблица 2

Вербальная шкала относительной важности критериев

Качественное значение		Количественное значение		
1		2	3	
		$\delta_{ij}$	$k_{ij} = e^{p \cdot \delta_{ij}}$	
$F_j$	Абсолютно превосходит	$F_i$	-10	0,0009
$F_j$	Очень сильно превосходит	$F_i$	-8	0,004
$F_j$	Сильно превосходит	$F_i$	-6	0,015
$F_j$	Умеренно превосходит	$F_i$	-4	0,06
$F_j$	Немного превосходит	$F_i$	-2	0,246
$F_i$	Примерно равно	$F_j$	0	1
$F_i$	Немного превосходит	$F_j$	2	4,06
$F_i$	Умеренно превосходит	$F_j$	4	16,44
$F_i$	Сильно превосходит	$F_j$	6	66,70
$F_i$	Очень сильно превосходит	$F_j$	8	270,43
$F_i$	Абсолютно превосходит	$F_j$	10	1096,63

Таблица 3

Статистика за один квартал по ГОКУ

Агрегат	Количество поломок	Простои, час	Стоимость ремонта, грн	Общие затраты, грн
A1	19	1109,99	44000	269453580
A2	27	1937,29	3800	468926780
A3	10	293,66	420	71069920
A4	15	1086,4	980	262923500
A5	52	1645,71	35000	400081820
A6	9	2918,35	5300	706288400
A7	6	1121,07	2700	271315140
A8	5	337,17	980	81600040

В табл. 3 представлены данные статистики по количеству поломок, простоев, стоимости ремонта и общие затраты по всем агрегатам.

Составим 4 матрицы парного сравнения. Ниже в табл. 4 представлена матрица парного сравнения, основанная на количестве поломок агрегатов, в табл. 5 – матрица парного сравнения, основанная на часах простоя, в табл. 6 – матрица парного сравнения, основанная на стоимости ремонта. Что касается табл. 7, то в ней представлена матрица парного сравнения, основанная на общих затратах.

Рассмотрим экспертные методы. Ниже в табл. 8 представлена матрица классического парного сравнения, в табл. 9 - матрица парного сравнения на основании фиксированного предпочтения, в табл. 10 – матрица парного сравнения на основании плаваю-

щого предпочтения, в табл. 11 представлена матрица парного сравнения на основании экспоненциально плавающего предпочтения.

Таблица 4

Матрица парного сравнения:  
количество поломок

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
A1	1	0,71	1,90	1,27	0,37	2,11	3,17	3,80
A2	1,42	1	2,70	1,80	0,52	3,00	4,50	5,40
A3	0,53	0,37	1	0,67	0,19	1,11	1,67	2,00
A4	0,79	0,56	1,50	1	0,29	1,67	2,50	3,00
A5	2,74	1,93	5,20	3,47	1	5,78	8,67	10,4
A6	0,47	0,33	0,90	0,60	0,17	1	1,50	1,80
A7	0,32	0,22	0,60	0,40	0,12	0,67	1	1,20
A8	0,26	0,19	0,50	0,33	0,09	0,56	0,83	1

Таблица 5

Матрица парного сравнения:  
часы простоя

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
A1	1	0,57	3,78	1,02	0,67	0,38	0,99	3,29
A2	1,75	1	6,60	1,78	1,18	0,66	1,73	5,75
A3	0,27	0,15	1	0,27	0,18	0,10	0,26	0,87
A4	0,98	0,56	3,70	1	0,66	0,37	0,97	3,22
A5	1,48	0,85	5,60	1,52	1	0,56	1,47	4,88
A6	2,63	1,51	9,94	2,69	1,77	1	2,60	8,66
A7	1,01	0,58	3,82	1,03	0,68	0,38	1	3,33
A8	0,31	0,17	1,15	0,31	0,21	0,12	0,30	1

Таблица 6

Матрица парного сравнения:  
стоимость ремонта агрегата

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
A1	1	11,6	104	44,9	1,26	8,30	16,3	44,9
A2	0,09	1	9,04	3,88	0,11	0,72	1,41	3,88
A3	0,01	0,11	1	0,43	0,01	0,08	0,16	0,43
A4	0,02	0,26	2,33	1	0,03	0,19	0,36	1,00
A5	0,8	9,21	83,33	35,7	1	6,60	12,9	35,7
A6	0,12	1,40	12,62	5,41	0,15	1	1,96	5,41
A7	0,06	0,71	6,43	2,76	0,08	0,51	1	2,76
A8	0,02	0,26	2,33	1,00	0,03	0,19	0,36	1

Таблица 7

Матрица парного сравнения:  
общие затраты

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
A1	1	0,58	3,79	1,02	0,67	0,38	0,99	3,30
A2	1,74	1	6,60	1,78	1,17	0,66	1,73	5,75
A3	0,26	0,15	1	0,27	0,18	0,10	0,26	0,87
A4	0,97	0,56	3,70	1	0,66	0,37	0,97	3,22
A5	1,49	0,85	5,63	1,52	1	0,57	1,48	4,90
A6	2,62	1,51	9,94	2,69	1,77	1	2,60	8,66
A7	1,01	0,58	3,82	1,03	0,68	0,38	1	3,33
A8	0,30	0,17	1,15	0,31	0,20	0,12	0,30	1

Таблица 8

Матрица классического парного сравнения

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
A1	1	0	1	0,5	0	0	0,5	1
A2	1	1	1	1	0,5	0	1	1
A3	0	0	1	0	0	0	0	1
A4	0,5	0	1	1	0	0	0,5	1
A5	1	0,5	1	1	1	0,5	1	1
A6	1	1	1	1	0,5	1	1	1
A7	0,5	0	1	0,5	0	0	1	1
A8	0	0	0	0	0	0	0	1

Таблица 9

Матрица парного сравнения  
на основании фиксированного предпочтения

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
A1	1	0,5	1,5	1	0,5	0,5	1	1,5
A2	1,5	1	1,5	1,5	1	0,5	1,5	1,5
A3	0,5	0,5	1	0,5	0,5	0,5	0,5	1,5
A4	1	0,5	1,5	1	0,5	0,5	1	1,5
A5	1,5	1	1,5	1,5	1	1	1,5	1,5
A6	1,5	1,5	1,5	1,5	1	1	1,5	1,5
A7	1	0,5	1,5	1	0,5	0,5	1	1,5
A8	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1

Таблица 10

Матрица парного сравнения  
на основании плавающего предпочтения

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
A1	1	1/2	4	1	1/2	1/3	1	3
A2	2	1	7	2	1	1/2	2	6
A3	1/4	1/7	1	1/5	1/6	1/9	1/4	1
A4	1	1/2	5	1	1/2	1/3	1	3
A5	2	1	6	2	1	1/2	2	5
A6	3	2	9	3	2	1	3	9
A7	1	1/2	4	1	1/2	1/3	1	3
A8	1/3	1/6	1	1/5	1/9	1/9	1/3	1

Таблица 11

Матрица парного сравнения на основании  
экспоненциально плавающего предпочтения

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
A1	1	0,25	16,44	1	0,25	0,06	1	16,4
A2	4,06	1	270,43	4,06	1	0,25	4,06	66,7
A3	0,06	0,01	1	0,02	0,02	0,01	0,06	1
A4	1	0,25	66,7	1	0,25	0,06	1	16,4
A5	4,06	1	66,7	4,06	1	0,25	4,06	66,7
A6	16,4	4,06	1096	16,4	4,06	1	16,4	1096
A7	1	0,25	16,44	1	0,25	0,06	1	16,44
A8	0,06	0,02	1	0,06	0,02	0,01	0,06	1

В табл. 12 представлены весовые коэффициенты (K1 – количество поломок, K2 – часы простоя, K3 – затраты на ремонт, K4 – общие затраты,  $\mu_1$  – классический метод,  $\mu_2$  – фиксированное предпочтение,  $\mu_3$  – плавающее предпочтение,  $\mu_4$  – экспоненциально-плавающее предпочтение), рассчитанные восемью методами.

Таблица 12

Весовые коэффициенты  
методов парного сравнения

	Расчетные				Экспертные			
	K1	K2	K3	K4	$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$	$\mu_4$
A1	0,133	0,106	0,472	0,106	0,111	0,117	0,096	0,028
A2	0,189	0,185	0,041	0,185	0,181	0,156	0,182	0,136
A3	0,070	0,028	0,005	0,028	0,056	0,086	0,026	0,001
A4	0,105	0,104	0,011	0,104	0,111	0,117	0,099	0,034
A5	0,364	0,157	0,376	0,158	0,194	0,164	0,175	0,114
A6	0,063	0,279	0,057	0,279	0,208	0,172	0,299	0,657
A7	0,042	0,107	0,029	0,107	0,111	0,117	0,096	0,028
A8	0,035	0,032	0,011	0,032	0,028	0,070	0,028	0,001

Все методы парных сравнений дают приблизительно одинаковый результат. Самым выделяющимся из всех является метод парного сравнения с экспоненциально-плавающим предпочтением. Также выпадает из общей картины метод парного сравнения затрат на ремонт. Все остальные методы дают примерно одинаковые результаты.

Рассмотрим пример оценки состояния карьерных автосамосвалов. У нас есть 3 автосамосвала, каждый агрегат которого оценен по 10-бальной шкале, где 1 – ужасное состояние (необходима срочная замена-ремонт), 10 – идеальное состояние (табл. 13). Рассчитаем коэффициенты состояния  $O_i$ , которые помогут оценить их состояние.

При оценке состояния автосамосвалов будем опираться на шкалу:

- если общее состояние  $O_i \leq 2$ , то необходимо автосамосвал списывать;
- если  $2 < O_i \leq 5$ , то автосамосвал необходимо отдавать на капитальный ремонт;
- если  $5 < O_i \leq 8$ , то автосамосвал необходимо отдавать на плановый (текущий) ремонт;
- если  $O_i > 8$ , то автосамосвал в отличном рабочем состоянии и ему необходим плановый техосмотр.

#### ПОРІВНЯННЯ РОЗРАХУНКОВИХ І ЕКСПЕРТНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВАГОВИХ КОЕФІЦІЄНТІВ БАЗОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ КАР'ЄРНИХ АВТОСАМОСКИДІВ

Е.Ю. Прокуда

У даній статті виконано порівняння методів визначення вагових коефіцієнтів локальних критеріїв для базових елементів кар'єрних автосамоскидів розрахунковими та експертними методами. Розрахунки проводяться на підставі методу парних порівнянь. Експертних і розрахункових методів усього по чотири види. Для виконання аналізу взято вісім базових елементів кар'єрного автосамоскида. Наведено приклад розрахунку оцінки стану кар'єрних автосамоскидів.

**Ключові слова:** вагові коефіцієнти, кар'єрні автосамоскиди, метод парних порівнянь, експерт.

#### COMPARISON OF THE CALCULATED AND AN EXPERT METHOD FOR DETERMINING THE WEIGHTING FACTOR OF BASIC ELEMENTS OF DUMP TRUCKS

E.Yu. Prokuda

This paper presents comparison of methods for determining the weighting factors of local criteria for the basic elements of career dump estimates and expert methods. Calculations are made on the basis of the method of paired comparisons. Expert and calculation methods represented by four species. For analysis taken eight basic elements of career dump. An example of calculating the assessment of the state of dump trucks.

**Keywords:** weighting factor, dump trucks, the method of paired comparisons, expert.

Таблица 13

Пример расчета оценки  
состояния карьерных автосамосвалов

Название агрегата	M1	M2	M3	Весовой коэффициент
A1	5	8	7	0,106
A2	9	7	6	0,185
A3	8	4	9	0,028
A4	7	6	5	0,104
A5	5	7	6	0,158
A6	9	4	5	0,279
A7	6	9	8	0,107
A8	10	7	5	0,032
$O_i$ :	7,417	6,296	5,990	

Исходя из табл. 13 можем сделать вывод, что наилучшее состояние у автосамосвала M1.

### Выводы

Наиболее верным для использования является расчетный метод, учитывающий все виды затрат. Но следует заметить, коэффициенты, полученные классическим методом парного сравнения близки с исходным выбранным. Метод парных сравнений – очень удобный и понятный для использования

### Список литературы

1. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархии / Т. Саати. – Мо.: Радио и связь, 1993. – 320 с.
2. Фурцев Д.Г. Об оптимизации на основе метода анализа иерархий / Д.Г. Фурцев, А.Н. Коваленко, Е.А. Ткаченко // Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика. 2014. – № 1 (172). – Вып. 29/1. – С. 142-149.
3. Власов Ю.А. Оптимизация выбора и эффективность использования диагностического оборудования / Ю.А. Власов, А.Н. Ляпин // Вестник КузГТУ. – 2012. – № 2. – С. 12-18.

Поступила в редколлегию 21.04.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.И. Корсун, ГВУЗ «Национальный горный университет», Днепропетровск.