

УДК 614.8

## УЧЕТ МНЕНИЯ ЭКСПЕРТОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ РИСКА

П. С. ОРЛОВСКИЙ<sup>1</sup>, А. П. БЫЗОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Санкт-Петербург, Россия

В условиях недостатка статистических данных количественная оценка риска аварий на опасных производственных объектах требует интеграции в расчет экспертных оценок. В работе представлена методика формализации экспертной информации через анкетные опросы с применением метода анализа иерархий (МАИ) и шкалы Томаса Саати (1–9) [1]. С помощью созданной формы опрос прошли 44 специалиста, ответы которых приведены в табл. 1.

Табл. 1. Результаты анкетных опросов парных сравнений

Пары	–4	–3	–2	–1	0	1	2	3	4
F <sub>61</sub> –F <sub>62</sub>	1	4	6	5	17	3	4	1	3
F <sub>61</sub> –F <sub>63</sub>	1	3	4	4	9	6	7	6	4
F <sub>61</sub> –F <sub>64</sub>	2	1	5	8	11	7	2	4	4
F <sub>62</sub> –F <sub>63</sub>	2		9	6	10	3	2	6	6
F <sub>62</sub> –F <sub>64</sub>	3	2	2	6	13	11	3	2	2
F <sub>63</sub> –F <sub>64</sub>	3	8	3	1	17	4	7		1

Вносятся полученные ответы экспертов в матрицу в соответствии со шкалой важности [2, 3]. Подход основан на определении среднего значения полученных ответов экспертов с его последующей трансформацией в рамках принятых дискретных значений (табл. 2) [4–6].

Табл. 2. Оценка средних значений

Пары сравнения	Среднее значение результатов анкетных опросов парных сравнений	Принятая оценка для матрицы парных сравнений
F <sub>61</sub> –F <sub>62</sub>	0	1
F <sub>61</sub> –F <sub>63</sub>	0,5	1/2
F <sub>61</sub> –F <sub>64</sub>	0	1
F <sub>62</sub> –F <sub>63</sub>	0,5	1/2
F <sub>62</sub> –F <sub>64</sub>	0	1
F <sub>63</sub> –F <sub>64</sub>	–0,5	2

В табл. 3 представлены матрица парных сравнений и полученные весовые коэффициенты для группы факторов надземного резервуара со сжиженным

углеводородным газом «Природные воздействия» [7].

Табл. 3. Парное сравнение факторов на основе проведенного опроса

Фактор	F <sub>61</sub>	F <sub>62</sub>	F <sub>63</sub>	F <sub>64</sub>	Произведение Π	Корень 4-й степени из произведе- ния $\sqrt[4]{\Pi}$	Приоритет	$\lambda_{\max}$
F <sub>61</sub>	1	1	1/2	1	0,50	0,84	0,20	1,00
F <sub>62</sub>	1	1	1/2	1	0,50	0,84	0,20	1,00
F <sub>63</sub>	2	2	1	2	8,00	1,68	0,40	1,00
F <sub>64</sub>	1	1	1/2	1	0,50	0,84	0,20	1,00
Сумма	5,00	5,00	2,50	5,00	Итого	4,20	1,000	4,00
							U <sub>c</sub>	0,00
							CC	0,9
							OC	0,00

Однако бывают случаи, когда необходимо расширить систему факторов. Это может быть обусловлено необходимостью учета индивидуальных особенностей эксплуатации рассматриваемых объектов, которые связаны с уникальностью конструкции, необходимостью отступления от требований или особыми условиями расположения объекта. В рассматриваемом случае может быть учтена ветровая нагрузка для регионов с повышенными значениями этих показателей, где скорость ветра может превышать 30 м/с либо значения ветрового давления превышают 55 кгс/м<sup>2</sup> [8], и введен фактор F<sub>65</sub> «Ветровая нагрузка». Логика расширения числа факторов приведена в табл. 4 и 5.

Табл. 4. Парное сравнение факторов с учетом нового введенного фактора

Фактор	F <sub>61</sub>	F <sub>62</sub>	F <sub>63</sub>	F <sub>64</sub>	F <sub>65</sub>	Произведение Π	Корень 5-й степени из произведения $\sqrt[5]{\Pi_i}$	Приоритет
F <sub>61</sub>	1	1	1/2	1	1/a	Π <sub>1</sub>	$\sqrt[5]{\Pi_1}$	$\frac{\sqrt[5]{\Pi_1}}{S}$
F <sub>62</sub>	1	1	1/2	1	1/b	Π <sub>2</sub>	$\sqrt[5]{\Pi_2}$	$\frac{\sqrt[5]{\Pi_2}}{S}$
F <sub>63</sub>	2	2	1	2	1/c	Π <sub>3</sub>	$\sqrt[5]{\Pi_3}$	$\frac{\sqrt[5]{\Pi_3}}{S}$
F <sub>64</sub>	1	1	1/2	1	1/d	Π <sub>4</sub>	$\sqrt[5]{\Pi_4}$	$\frac{\sqrt[5]{\Pi_4}}{S}$
F <sub>65</sub>	a	b	c	d	1	Π <sub>5</sub>	$\sqrt[5]{\Pi_5}$	$\frac{\sqrt[5]{\Pi_5}}{S}$
Итого							4,20	1,000
							U <sub>c</sub>	$\frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$
							CC	Из [9]
							OC	$\frac{U_c}{CC} \cdot 100 \%$

Табл. 5. Парное сравнение факторов с учетом нового введенного фактора

Фактор	F <sub>61</sub>	F <sub>62</sub>	F <sub>63</sub>	F <sub>64</sub>	F <sub>65</sub>	Произведение П	Корень 5-й степени из произведения $\sqrt[5]{П}$	Приоритет	$\lambda_{max}$
F <sub>61</sub> «Подвижки и деформации грунта»	1	1	1/2	1	5	2,5	1,20	0,20	1,04
F <sub>62</sub> «Состав грунта с точки зрения его несущей способности»	1	1	1/2	1	3	1,5	1,08	0,18	0,95
F <sub>63</sub> «Грозная активность»	2	2	1	2	7	56	2,24	0,38	1,00
F <sub>64</sub> «Аварии и отказы, имевшие место по причине природных воздействий»	1	1	1/2	1	2	1	1	0,17	0,94
F <sub>65</sub> «Ветровая нагрузка»	1/5	1/3	1/7	1/2	1	0,005	0,35	0,07	1,26
Сумма	5,2	5,3	2,64	5,5	18	Итого	5,87	1,000	5,19
								U <sub>c</sub>	0,05
								CC	1,12
								OC	4,46

В условиях дефицита статистических данных по авариям на опасных производственных объектах количественная оценка риска неизбежно опирается на экспертные суждения.

В работе проанализированы методы формализации экспертной информации для оценки частот инициирующих событий, включая метод анализа иерархий (МАИ) и балльно-факторную корректировку.

Предложен подход к снижению субъективности экспертных оценок через комбинирование анкетных опросов с последующей статистической обработкой и применение принципа открытой архитектуры при формировании систем факторов влияния.

Приведен пример определения весовых коэффициентов для факторов группы «Природные воздействия», влияющих на вероятность аварий на наземных емкостях автомобильных газозаправочных станций.

Также было рассчитано отношение согласованности (OC) матрицы после расширения числа факторов с целью оценки качества экспертов. Получено значение ниже 10 %, что является приемлемым. Однако по причине того, что после введения в матрицу нового фактора парное сравнение производилось уже не 44 экспертами, а одним, то значение OC уже получилось не близким к нулю,

как было ранее, а чуть более 4 %. Сравнение результатов, представленных в табл. 6, показывает незначительное изменение полученных значений весовых коэффициентов.

Табл. 6. Значения весовых коэффициентов до и после введения в группу нового фактора

Фактор	Вес фактора	Фактор	Вес фактора
F <sub>61</sub>	0,20	F <sub>61</sub>	0,20
F <sub>62</sub>	0,20	F <sub>62</sub>	0,18
F <sub>63</sub>	0,40	F <sub>63</sub>	0,38
F <sub>64</sub>	0,20	F <sub>64</sub>	0,17
–	–	F <sub>65</sub>	0,07

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Андреев, А. В.** Методика балльно-факторной оценки частоты инициирующих пожароопасные ситуации событий для подземных емкостей автомобильной газозаправочной станции / А. В. Андреев, А. П. Бызов, П. С. Орловский // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2023. – № 4 (68). – С. 131–141.

2. **Орловский, П. С.** Методика балльно-факторной оценки частоты инициирующих пожароопасные ситуации событий для надземных емкостей АГЗС / П. С. Орловский, А. П. Бызов, А. В. Андреев // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12, № 3 (63). – С. 141–146.

3. **Орловский, П. С.** Методика балльной оценки факторов влияния на возникновение пожароопасной ситуации для надземных емкостей АГЗС / П. С. Орловский, А. П. Бызов // Siberian Fire and Rescue Bulletin. – 2024. – № 2 (33). – С. 157–167.

4. **Орловский, П. С.** Определение коэффициентов важности с помощью метода анализа иерархий / П. С. Орловский // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых. – Могилев, 2023. – С. 121.

5. **Орловский, П. С.** Определение значимости факторов, влияющих на вероятность аварии на автомобильных газозаправочных станциях с надземной емкостью для сжиженных углеводородных газов / П. С. Орловский // Молодежь в науке – 2024 : тез. докл. XXI Междунар. науч. конф. молодых ученых. – Мн., 2024. – С. 368–369.

6. **Орловский, П. С.** Корректировка весов балльно-факторной оценки частоты аварий на АГЗС методом опроса экспертов / П. С. Орловский // III Респ. форум молодых ученых учреждений высшего образования : сб. материалов. – Брест, 2024. – С. 46.

7. **Орловский, П. С.** Влияние условий природной среды на безопасное функционирование предприятий нефтепродуктообеспечения / П. С. Орловский // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев, 2024. – С. 268–269.

8. Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Ветровые воздействия : СН 2.01.05–2019. – Мн. : Минстройархитектуры, 2020. – 127 с.

9. **Тимченко, Н. Ю.** Выбор оптимальных альтернатив развития транспортно-экспедиторской компании ООО «ДАЛК» методом анализа иерархий / Н. Ю. Тимченко // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия : Экономика. – 2014. – № 2 (141). – С. 207–212.