

УДК 62.02

asmosolov@yandex.ru

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ДЕЛЬФИ И АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ ПРИ ВЫБОРЕ ПРИОРИТЕТНОГО СЦЕНАРИЯ РАЗВИТИЯ АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ НА ОБЪЕКТЕ ЗАЩИТЫ

APPLICATION OF METHODS OF DELPHI AND ANALYSIS OF HIERARCHIES AT THE CHOICE OF THE PRIORITY SCENARIO OF DEVELOPMENT OF EMERGENCY SITUATION AT THE PROTECTED OBJECT

Ковальский Ф. С.,

*Мосолов А. С., кандидат технических наук, доцент,
РХТУ им. Д. И. Менделеева, Москва,*

*Прус Ю. В., доктор физико-математических наук, профессор,
Российский государственный университет нефти и газа
(Научно-исследовательский университет) им. И. М. Губкина, Москва*

Kovalskii F. S., Mosolov A. S.,

*Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow,
PrusYu. V., National University of Oil and Gas (NRU) I. M. Gubkin, Moscow*

В статье рассмотрено применение методов экспертных оценок, которые целесообразно использовать для принятия решений при наличии большого числа альтернатив и разнонаправленных критериев. Исследуется возможность использования «метода анализа иерархий» и «метода Дельфи» при определении приоритетного сценария развития аварийной ситуации в случае совершения акта незаконного вмешательства, в том числе террористического акта, внутренним нарушителем путем реализации угрозы технического воздействия на критические элементы объекта.

Ключевые слова: приоритетный сценарий, метод анализа иерархий, метод смещенного идеала, метод Дельфи, технологическая безопасность, комплексная безопасность объектов ТЭК, террористический акт, угроза технического воздействия.

The article discusses the application of expert assessment methods, which are advisable to use for decision making in the presence of a large number of alternatives and multidirectional criteria. The possibility of using the “hierarchy analysis method” and the “Delphi method” to determine the priority scenario for the development of an emergency in the event of an act of unlawful interference, including a terrorist act, is investigated by an internal violator by realizing a threat of technical impact on critical elements of the object.

Keywords: priority scenario, hierarchy analysis method, shifted ideal method, Delphi method, technological security, integrated security of fuel and energy facilities, terrorist act, threat of technical impact.

Определение приоритетного сценария развития аварийной ситуации в результате акта незаконного вмешательства (АНВ) на объекте топливно-энергетического комплекса (ТЭК) является чрезвычайно важной проблемой при

категорировании объектов ТЭК [1]. В зависимости от значений показателей критериев категорирования объекту присваивается категория потенциальной опасности от акта незаконного вмешательства, а для критических элементов устанавлива-

ется определенный уровень защищенности [2]. Для решения этой проблемы в литературе [3, 4] описан метод (далее – Метод), позволяющий из множества вероятных сценариев выбрать приоритетный сценарий, который будет стремиться реализовать потенциальный нарушитель. Структура Метода включает следующие этапы:

1. Анализ производства.
2. Определение списка возможных сценариев (комбинации отказов и вероятности из возникновения) развития аварийной ситуации.
3. Определение последствий для каждого сценария.
4. Прогнозирование сценариев развития аварийной ситуации с использованием метода смещенного идеала (МСИ) [5].

Надежность Метода, в том числе для уменьшения влияния человеческого фактора (ошибка, предвзятое мнение и т. д.), в данной статье подкрепляется результатами исследований с применением методов экспертных оценок: метода Дельфи [6] и метода анализа иерархий (МАИ) [7].

С помощью указанных экспертных методов определяется важность каждого из критериев, по которым оцениваются последствия от АНВ.

Метод Дельфи, разработанный в 50 – 60-е годы XX века сотрудниками «РЭНД Корпорейшн» (США) Д. Гордоном и О. Хелмером с целью прогнозирования влияния научных разработок на способы ведения военных действий, используется для многоуровневого и анонимного анализа экспертных решений [6]. Его цель заключается в выборе наиболее вероятного решения проблемы или задачи с использованием мозгового штурма, интервьюирования и опросов экспертов. В нашем случае предложено его использование для того, чтобы экспертным путем оценить степень важности критериев категорирования для последствий аварийных ситуаций.

Рассмотрим этапы метода Дельфи.

1. Определение состава экспертной группы.
2. Получение мнения экспертов.
3. Анализ полученных данных и повторный опрос экспертов с указанием ответов всех экспертов.
4. Повторение пунктов 2,3 до тех пор, пока не будет изменений решений.
5. Анализ полученных данных.

На первом этапе производится отбор экспертной группы. Количество участников не ограничено, но рекомендуется привлекать не более 20 человек. Группа составляется полностью анонимно, эксперты не должны знать личности участников для исключения субъективного фактора.

На втором этапе экспертам предоставляются опросные листы с заданием указать важность каждого из четырех критериев последствий аварийной ситуации от 0 до 10, где 0 – не важно, а 10 – важно. В опросных листах используются следующие критерии последствий аварийной ситуации: вероятность отказа системы, зона чрезвычайной ситуации (ЧС), экономический ущерб, количество пострадавших. Определения критериев, кроме вероятностного, раскрыты в [8]: в частности, под зоной чрезвычайной ситуации (зона ЧС) понимается территория, условия жизнедеятельности людей на которой нарушены. Глубина территории заражения, загрязнения, разрушения и т. п. от эпицентра совершения базовой угрозы определяется в метрах в соответствии с методикой расчета, принятой межведомственной комиссией по категорированию [9].

На третьем этапе анализируются ответы экспертов, и опросные листы вновь передаются экспертам, но уже с указанием ответов всех экспертов. Перед отвечающим ставится задача ознакомиться с ответом всех членов экспертной группы и изменить, или не изменить ранее выставленные Вами баллы.

Четвертый этап заключается в повторении пунктов 2 и 3 до тех пор, пока

все эксперты не перестанут вносить изменения в свои ответы.

На пятом этапе анализируется окончательный вариант распределения важности между критериями и определяется важность каждого критерия как среднее значение всех ответов (окончательных) экспертов по данному критерию.

Метод анализа иерархий (МАИ) (усеченный вид метода, представленного в [7]) заключается в анализе последствий аварийной ситуации с учетом важности каждого критерия (рассчитанного по методу Дельфи) и определении наиболее опасного сценария развития аварийной ситуации, выбор которого в дальнейшем

подтверждается математическими методами нормирования и многокритериальной оптимизации [5].

В качестве исходных данных для описания МАИ используем данные, описанные в [3] для блока компримирования водорода установки производства водорода и представленные в таблице 1. Алгоритмы получения расчетных данных, представленных в таблице 1, детально описаны в [3]. Они представляют собой последствия той либо иной комбинации отказов, которые возникнут в результате сложившейся аварийной ситуации после совершения акта незаконного вмешательства.

Таблица 1
Расчетные числовые значения последствий комбинаций отказов

Комбинация	Критерии			
	Вероятность отказа системы	Зона ЧС, м	Экономический ущерб, руб.	Количество пострадавших, чел.
K ₁	0,0277	28,05	70508,70	5
K ₂	0,009	28,52	73877,50	7
K ₃	0,0277	30,24	464319,1	7
K ₄	0,0154	35,15	468433,9	7
K ₅	0,0277	62,52	1075618,8	19
K ₆	0,0277	62,52	1075618,8	19
K ₇	0,0154	35,15	613701,10	7
K ₈	0,0277	62,52	1075618,8	19
K ₉	0,023	3	1939,6	0
K ₁₀	0,0003	28,52	73877,5	7
K ₁₁	0,001	28,05	70508,7	5
K ₁₂	0,0006	35,15	468433,9	7
K ₁₃	0,001	62,52	1075618,8	19
K ₁₄	0,001	62,52	1075618,8	19
K ₁₅	0,0006	35,15	613701,1	7
K ₁₆	0,001	62,52	1075618,8	19
K ₁₇	0,0008	3	1939,6	0
K ₁₈	0,0003	28,52	73877,5	7
K ₁₉	0,0002	35,15	468433,9	7
K ₂₀	0,0003	30,24	464319,1	7
K ₂₁	0,0003	28,52	73877,5	7
K ₂₂	0,0002	35,15	613701,1	7
K ₂₃	0,0003	28,52	73877,5	7
K ₂₄	0,0003	3	1939,6	0
K ₂₅	0,0006	30,24	464319,1	7

Комбинация	Критерии			
	Вероятность отказа системы	Зона ЧС, м	Экономический ущерб, руб.	Количество пострадавших, чел.
K ₂₆	0,001	62,52	1075618,8	19
K ₂₇	0,001	62,52	1075618,8	19
K ₂₈	0,0006	35,15	613701,1	7
K ₂₉	0,001	62,52	1075618,8	19
K ₃₀	0,0008	3	1939,6	0
K ₃₁	0,0006	35,15	468433,9	7
K ₃₂	0,0006	35,15	468433,9	7
K ₃₃	0,0003	35,15	468433,9	7
K ₃₄	0,0006	35,15	468433,9	7
K ₃₅	0,0005	3	1939,6	0
K ₃₆	0,001	62,52	1075618,8	19
K ₃₇	0,0006	30,24	464319,1	7
K ₃₈	0,001	62,52	1075618,8	19
K ₃₉	0,0008	3	1939,6	0
K ₄₀	0,0006	35,15	613701,1	7
K ₄₁	0,001	62,52	1075618,8	19
K ₄₂	0,0008	3	1939,6	0
K ₄₃	0,0006	35,15	613701,1	7
K ₄₄	0,0005	3	1939,6	0

Метод анализа иерархий (в нашем случае, с учетом объема статьи рассматриваем усеченный вариант) состоит из 3 этапов:

1. Нормирование значений каждого критерия и важности критериев (под важностью критерия понимается субъективная оценка экспертов, в вероятностном значении, определяющая значимость того, либо иного критерия).

2. Расчет цены каждой комбинации (под ценой комбинации подразумевается численная величина её привлекательности. Каждая комбинация отказов является сценарием развития аварийной ситуации ввиду отказа какого-либо из элементов либо совокупности элементов).

3. Расположение сценариев (комбинаций) в порядке увеличения их цен, формирование рейтинга комбинаций.

На первом этапе происходит:

– нормирование значений каждого критерия,

– нормирование важности критериев.

Нормирование значений каждого критерия вычисляется по формуле:

$$K_{ij} = \frac{K_{исх,ij}}{K_{сум,j}}$$

где K_{ij} – нормированное значение комбинации i -й комбинации j -го критерия; $K_{исх,ij}$ – нормируемое значение i -й комбинации j -го критерия; $K_{сум,j}$ – сумма всех значений j -го критерия.

Например, так осуществляется нормирование значения комбинации 1 для критерия «Вероятность отказа системы»:

$$K_{11} = \frac{0,0277}{0,224} = 0,123.$$

Нормирование важности критериев вычисляется по формуле:

$$B_j = \frac{B_{исх,j}}{B_{сум}}$$

где V_j – нормированное значение важности j -го критерия; $V_{исх,j}$ – нормируемое значение субъективной оценки экспертом важности j -го критерия; $V_{сум}$ – сумма всех значений важности всех критериев.

Проиллюстрируем получение нормированных значений важности критериев на примере таблицы 6 [3]. Напомним, оценки важности критериям определяют эксперты – члены межведомственной комиссии (МВК) по категорированию: представитель Минэнерго России, представитель ФСВНГ, представитель МЧС, представитель ФСБ, представитель администрации территориального субъекта,

представитель департамента жилищно-коммунального хозяйства территориального субъекта [9]. С целью обеспечения незаинтересованности экспертов в процессе присвоения весов критериям, представители объекта ТЭК из состава МВК в экспертной оценке не принимают участия. Кроме того, присвоенные значения важности критериям носят анонимный характер.

Нормированное значение важности критериев рассчитывалась следующим образом:

- 1) Определение среднего значения важности каждого критерия (
- 2) Таблица 2);

Таблица 2
Веса критериев, определенные экспертами

Критерий	Важность критерия						Среднее значение
	N1	N2	N3	N4	N5	N6	
Вероятность отказа системы	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,15
Зона ЧС	0,7	0,1	0,1	0,2	0,7	0,3	0,35
Экономический ущерб	0,1	0,7	0,1	0,3	0,1	0,2	0,25
Количество пострадавших	0,1	0,1	0,7	0,4	0,1	0,1	0,25

4) Нормирование средних значений важности каждого критерия в соответствии с формулой:

$$V_j = \frac{V_{исх,j}}{V_{сум}}$$

Так, для критерия «Вероятность отказа системы» нормированное значение

важности рассчитывается следующим образом:

$$V_1 = \frac{0,15}{0,15 + 0,35 + 0,25 + 0,25} = 0,15.$$

В таблице 3 представлены результаты нормирования важности критериев.

Таблица 3
Нормированные значения важности критериев

Критерий	$V_{исх}$	V_j
Вероятность отказа системы	0,15	0,15
Зона ЧС	0,35	0,35
Экономический ущерб	0,25	0,25
Количество пострадавших	0,25	0,25

В таблице 4 приведены нормированные значения каждой комбинации.

Таблица 4

Нормированные значения каждой комбинации отказов

Комбинация	Критерии			
	Вероятность отказа системы	Зона ЧС	Экономический ущерб, руб.	Количество Пострадавших, чел.
K ₁	1,23E-01	1,81E-02	3,17E-03	1,28E-02
K ₂	4,00E-02	1,84E-02	3,32E-03	1,79E-02
K ₃	1,23E-01	1,95E-02	2,09E-02	1,79E-02
K ₄	6,85E-02	2,26E-02	2,11E-02	1,79E-02
K ₅	1,23E-01	4,02E-02	4,83E-02	4,85E-02
K ₆	1,23E-01	4,02E-02	4,83E-02	4,85E-02
K ₇	6,85E-02	2,26E-02	2,76E-02	1,79E-02
K ₈	1,23E-01	4,02E-02	4,83E-02	4,85E-02
K ₉	1,02E-01	1,93E-03	8,72E-05	0,00E+00
K ₁₀	1,34E-03	1,84E-02	3,32E-03	1,79E-02
K ₁₁	4,45E-03	1,81E-02	3,17E-03	1,28E-02
K ₁₂	2,67E-03	2,26E-02	2,11E-02	1,79E-02
K ₁₃	4,45E-03	4,02E-02	4,83E-02	4,85E-02
K ₁₄	4,45E-03	4,02E-02	4,83E-02	4,85E-02
K ₁₅	2,67E-03	2,26E-02	2,76E-02	1,79E-02
K ₁₆	4,45E-03	4,02E-02	4,83E-02	4,85E-02
K ₁₇	3,56E-03	1,93E-03	8,72E-05	0
K ₁₈	1,34E-03	1,84E-02	3,32E-03	1,79E-02
K ₁₉	8,90E-04	2,26E-02	2,11E-02	1,79E-02
K ₂₀	1,34E-03	1,95E-02	2,09E-02	1,79E-02
K ₂₁	1,34E-03	1,84E-02	3,32E-03	1,79E-02
K ₂₂	8,90E-04	2,26E-02	2,76E-02	1,79E-02
K ₂₃	1,34E-03	1,84E-02	3,32E-03	1,79E-02
K ₂₄	1,34E-03	1,93E-03	8,72E-05	0
K ₂₅	2,67E-03	1,95E-02	2,09E-02	1,79E-02
K ₂₆	4,45E-03	4,02E-02	4,83E-02	4,85E-02
K ₂₇	4,45E-03	4,02E-02	4,83E-02	4,85E-02
K ₂₈	2,67E-03	2,26E-02	2,76E-02	1,79E-02
K ₂₉	4,45E-03	4,02E-02	4,83E-02	4,85E-02
K ₃₀	3,56E-03	1,93E-03	8,72E-05	0,00E+00
K ₃₁	2,67E-03	2,26E-02	2,11E-02	1,79E-02
K ₃₂	2,67E-03	2,26E-02	2,11E-02	1,79E-02
K ₃₃	1,34E-03	2,26E-02	2,11E-02	1,79E-02
K ₃₄	2,67E-03	2,26E-02	2,11E-02	1,79E-02
K ₃₅	2,22E-03	1,93E-03	8,72E-05	0
K ₃₆	4,45E-03	4,02E-02	4,83E-02	4,85E-02
K ₃₇	2,67E-03	1,95E-02	2,09E-02	1,79E-02
K ₃₈	4,45E-03	4,02E-02	4,83E-02	4,85E-02
K ₃₉	3,56E-03	1,93E-03	8,72E-05	0
K ₄₀	2,67E-03	2,26E-02	2,76E-02	1,79E-02
K ₄₁	4,45E-03	4,02E-02	4,83E-02	4,85E-02

Комбинация	Критерии			
	Вероятность отказа системы	Зона ЧС	Экономический ущерб, руб.	Количество Пострадавших, чел.
K ₄₂	3,56E-03	1,93E-03	8,72E-05	0
K ₄₃	2,67E-03	2,26E-02	2,76E-02	1,79E-02
K ₄₄	2,22E-03	1,93E-03	8,72E-05	0
K ₄₅	3,56E-03	1,93E-03	8,72E-05	0

На втором этапе определяется цена каждой комбинации. Напомним, что под ценой комбинации подразумевается численная величина её привлекательности. Чем выше значение цены комбинации, тем она привлекательнее (представляет наибольшую опасность). Расчет производится по формуле:

$$S_i = \sum_j^j (B_j \cdot K_{ij}),$$

где S_i – цена i -й комбинации; K_{ij} – нормированное значение i -й комбинации j -го критерия.

Так, цена комбинации 1 рассчитывалась следующим образом:

$$S_1 = 0,123 \cdot 0,15 + 0,0181 \cdot 0,35 + 0,00317 \cdot 0,25 + 0,0128 \cdot 0,25 = 0,0288.$$

Рассчитанные значения цены каждой комбинации приведены в таблице 5.

На третьем этапе комбинации располагают в порядке уменьшения их цены и формируют рейтинг сценариев развития аварийной ситуации, где наиболее при-

оритетный сценарий располагается в начале списка. Было проведено сравнение результатов анализа с использованием МСИ, данные взяты из [3], и МАИ, результаты представлены в таблице 5.

Таблица 5
Рейтинг сценариев

Метод смещенного идеала	Метод анализа иерархий	
Комбинация	Комбинация	Цена комбинации
K ₅	K ₅	5,68E-02
K ₆	K ₆	5,68E-02
K ₈	K ₈	5,68E-02
K ₃	K ₁₃	3,90E-02
K ₁	K ₁₄	3,90E-02
K ₇	K ₁₆	3,90E-02
K ₄	K ₂₆	3,90E-02
K ₁₃	K ₂₇	3,90E-02
K ₁₄	K ₂₉	3,90E-02
K ₁₆	K ₃₆	3,90E-02
K ₂₆	K ₃₈	3,90E-02
K ₂₇	K ₄₁	3,90E-02
K ₂₉	K ₃	3,50E-02
K ₃₆	K ₇	2,96E-02
K ₃₈	K ₁	2,88E-02
K ₄₁	K ₄	2,79E-02
K ₉	K ₁₅	1,97E-02

Метод смещенного идеала	Метод анализа иерархий	
Комбинация	Комбинация	Цена комбинации
K ₂	K ₂₈	1,97E-02
K ₁₅	K ₄₀	1,97E-02
K ₂₈	K ₄₃	1,97E-02
K ₄₀	K ₂₂	1,94E-02
K ₄₃	K ₁₂	1,80E-02
K ₁₂	K ₃₁	1,80E-02
K ₂₂	K ₃₂	1,80E-02
K ₃₁	K ₃₄	1,80E-02
K ₃₂	K ₃₃	1,78E-02
K ₃₄	K ₁₉	1,78E-02
K ₃₃	K ₂	1,77E-02
K ₂₅	K ₂₅	1,69E-02
K ₃₇	K ₃₇	1,69E-02
K ₁₉	K ₂₀	1,67E-02
K ₂₀	K ₉	1,60E-02
K ₁₁	K ₁₀	1,19E-02
K ₁₀	K ₁₈	1,19E-02
K ₁₈	K ₂₁	1,19E-02
K ₂₁	K ₂₃	1,19E-02
K ₂₃	K ₁₁	1,10E-02
K ₁₇	K ₁₇	1,23E-03
K ₃₀	K ₃₀	1,23E-03
K ₃₉	K ₃₉	1,23E-03
K ₄₂	K ₄₂	1,23E-03
K ₄₅	K ₄₅	1,23E-03
K ₃₅	K ₃₅	1,03E-03
K ₄₄	K ₄₄	1,03E-03
K ₂₄	K ₂₄	8,98E-04

По результатам обоих методов приоритетными комбинациями выбраны K₅, K₆, K₈, значения комбинаций по каждому критерию совпадают и соответствуют:

- вероятность отказа системы – 0,0277;
- зона ЧС – 62,52 м;
- экономический ущерб – 1075618,8 руб;
- количество пострадавших – 19 чел.

В таблице 5 цветом указаны различия в результатах используемых методов, однако, несмотря на это, оба метода показывают высокую сходимость, подтверждая расположение комбинаций в порядке

уменьшения их приоритета. Несущественные различия между результатами методов можно объяснить разностью важности критериев в каждом методе.

При категорировании объектов ТЭК наиболее трудоемкой и подверженной риску ошибки человека является выбор приоритетного сценария развития аварийной ситуации в результате акта незаконного вмешательства на объект ТЭК. Описанные в данной статье методы Дельфи и анализа иерархий позволяют упростить порядок расчетов и, в то же время, повышают степень надежности метода выбора приоритетного сценария.

Особенно важным представляется возможность применять разработанный в

[3] Метод при проведении категорирования объектов ТЭК [1, 2] дистанционно и на условиях анонимности. Приведенный пример использования методов Дельфи и анализа иерархий только повышает степень доверия к точности оценки при вы-

боре приоритетного сценария развития аварийной ситуации на критических элементах объекта ТЭК, что является одним из основных требований контролирующего органа, ФСВНГ России.

Литература

1. Федеральный закон от 21.07.2011 № 256-ФЗ «О категорировании объектов топливно-энергетического комплекса»: принят Государственной Думой 6 июля 2011 года.
2. Методические рекомендации по анализу уязвимости производственно-технологического процесса и выявлению критических элементов объекта, оценке социально-экономических последствий совершения на объекте террористического акта и антитеррористической защищенности объекта при проведении категорирования и составлению паспорта безопасности объекта топливно-энергетического комплекса: утв. статс-секретарем-заместителем Министра энергетики РФ 10.10.2012.
3. Акинин Н. И., Губина Т. А., Мосолов А. С. Алгоритм метода определения приоритетного сценария развития аварийной ситуации на объекте защиты // Кокс и химия. 2019. С. 41–49.
4. Патент РФ RU 2 709 155 C1, 16.12.2019. Система оценки безопасности опасного производственного объекта // Патент России. Бюл. № 35 / Губина Т. А., Мосолов А. С., Мосолов А. А.
5. Кини Р. Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. М., 1981. 560 с.
6. Бешелев С. Д., Гурвич Ф. Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. 2-е изд., перераб. и доп. М., 1980. 263 с.
7. Саати Т. Принятие решений. Метода анализа иерархий. М., 1993. 278 с.
8. Постановление Правительства РФ от 21 мая 2007 г. № 304 «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».
9. Постановление Правительства РФ от 05.05.2012 № 459 «Об утверждении Положения об исходных данных для проведения категорирования объекта топливно-энергетического комплекса, порядке его проведения и критериях категорирования»: изм. 10.09.2016.

References

1. Federal'nyj zakon ot 21.07.2011 № 256-FZ «O kategorirovanii ob"ektov toplivno-energeticheskogo kompleksa»: prinyat Gosudarstvennoj Dumoj 6 iyulya 2011 goda.
2. Metodicheskie rekomendacii po analizu uyazvimosti proizvodstvenno-tekhnologicheskogo processa i vyyavleniyu kriticheskikh elementov ob"ekta, ocenke social'no-ekonomicheskikh posledstvij soversheniya na ob"ekte terroristicheskogo akta i antiterroristicheskoy zashchishchennosti ob"ekta pri provedenii kategorirovaniya i sostavleniyu pasporta bezopasnosti ob"ekta toplivno-energeticheskogo kompleksa: utv. stats-sekretarem-zamestitelem Ministra energetiki RF 10.10.2012.
3. Akinin N. I., Gubina T. A., Mosolov A. S. Algoritm metoda opredeleniya prioritetnogo scenariya razvitiya avarijnoj situacii na ob"ekte zashchity // Koks i himiya. 2019. S. 41–49.
4. Patent RF RU 2 709 155 C1, 16.12.2019. Sistema ocenki bezopasnosti opasnogo proizvodstvennogo ob"ekta // Patent Rossii. Byul. № 35 / Gubina T. A., Mosolov A. S., Mosolov A. A.
5. Kini R. L., Rajfa H. Prinyatie reshenij pri mnogih kriteriyah: predpochteniya i zameshcheniya. M., 1981. 560 s.
6. Beshelev S. D., Gurvich F. G. Matematiko-statisticheskie metody ekspertnyh ocenok. 2-e izd., pererab. i dop. M., 1980. 263 p.
7. Saati T. Prinyatie reshenij. Metoda analiza ierarhij. M., 1993. 278 p.
8. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 21 maya 2007 g. № 304 «O klassifikacii chrezvychajnyh situacij prirodnoho i tekhnogennogo haraktera».
9. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 05.05.2012 № 459 «Ob utverzhdenii Polozheniya ob iskhodnyh dannyh dlya provedeniya kategorirovaniya ob"ekta toplivno-energeticheskogo kompleksa, poryadke ego provedeniya i kriteriyah kategorirovaniya»: izm.10.09.2016