

## Применение метода анализа иерархий в оценке эффективности обращения с жидкими отходами в процессе уничтожения высокотоксичных веществ

© 2012. Г. Г. Фризоргер<sup>1</sup>, зам. директора, В. Г. Исаков<sup>2</sup>, д.т.н., зав. кафедрой,  
А. А. Абрамова<sup>1</sup>, зам. начальника отдела,

<sup>1</sup>Управление охраны окружающей среды и природопользования  
Минприроды Удмуртской Республики,

<sup>2</sup>Ижевский государственный технический университет,  
e-mail: aaa2785@mail.ru

На основе метода системного анализа – метода анализа иерархий проведена оценка факторов, оказывающих влияние на эффективность обращения с жидкими отходами при уничтожении высокотоксичных веществ.

Assessment of facts influencing efficiency of handling liquid waste during toxic substances decommission has been carried out on the basis of systematic analysis method – hierarchy analysis method.

Ключевые слова: метод анализа иерархий, жидкие отходы,  
уничтожение химического оружия, матрица парных сравнений

Keywords: hierarchy analysis method, liquid waste,  
chemical weapons decommission, the matrix of pairwise comparisons

В процессе функционирования любого промышленного предприятия неизбежно образуются сточные воды, как производственные, так и хозяйственно-бытовые и ливнёвые. Особенностью предприятий по уничтожению высокотоксичных веществ является образование сложных по составу и значительных по объёму сточных вод, реакционных масс, которые все вместе именуется жидкими отходами предприятия.

Под эффективностью обращения с жидкими отходами на предприятии понимается выполнение требований безопасности, соответствие проектного режима работы оборудования реальному и принятие дополнительных мер по повышению качества переработки сточных вод, а также оценка влияния образующихся на объекте сточных вод на окружающую среду, которые определяются многочисленными качественными показателями, начиная от состава отравляющих веществ, финансирования объекта, квалификации обслуживающего персонала и заканчивая соблюдением установленных экологических нормативов. Все эти факторы можно разбить на 4 группы (рис. 1).

Целью данной работы была количественная оценка методом системного анализа факторов, оказывающих влияние на эффектив-

ность обращения с жидкими отходами на примере трёх объектов по уничтожению химического оружия (УХО). Сравнимые попарно элементы – это возможные варианты выбора объекта УХО, который характеризуется наибольшей эффективностью обращения с жидкими отходами.

На первом этапе применения метода анализа иерархий (МАИ) к решению поставленной проблемы проводим структурирование проблемы в виде иерархии с декомпозицией проблемы на более простые составляющие (параметры, влияющие на эффективность обращения с жидкими отходами) с дальнейшей обработкой последовательности суждений лица, принимающего решение (ЛПР), по парным сравнениям каждого параметра (рис. 1).

Все суждения выражаются численно в качестве коэффициентов соотношений каждого параметра друг к другу. Для применения субъективных парных сравнений применяется шкала, представленная в таблице 1 [1 – 4].

Для выявления наиболее значимых параметров при организации системы обращения с жидкими отходами на этих объектах составляем матрицу парных сравнений (табл. 2), где оценивается важность каждого фактора (рис. 1), влияющего на обращение с жидкими отходами.

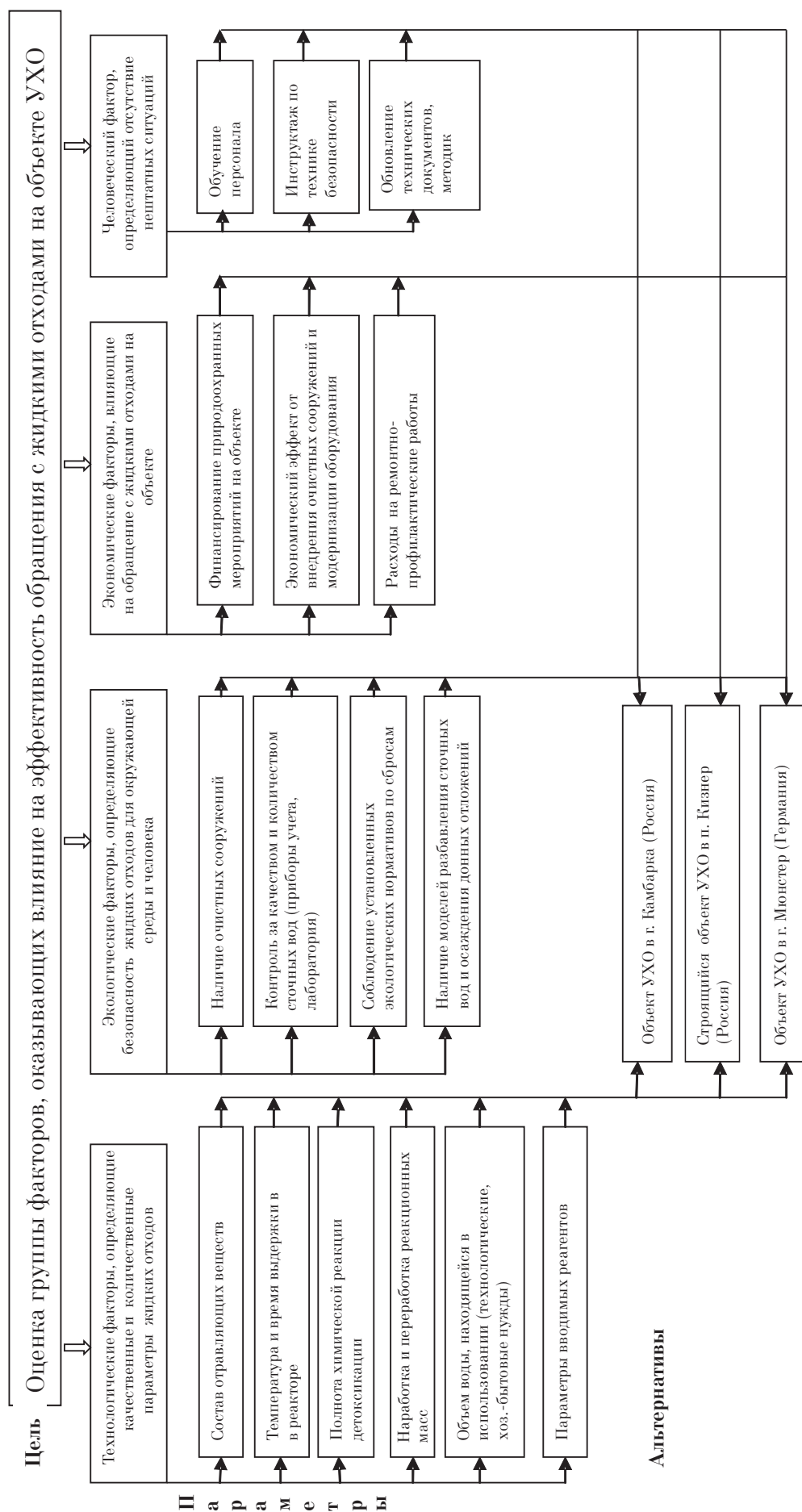


Рис. 1. Оценка факторов, оказывающих влияние на эффективность обращения с жидкими отходами на объектах УХО

Таблица 1

Шкала относительной важности

Интенсивность относительной важности	Определение
1	Сравниваемые факторы (к примеру, А и В) одинаково важны
3	А незначительно важнее, чем В
5	А значительно важнее В
7	А явно важнее В
9	А по своей значительности абсолютно превосходит В
2, 4, 6, 8	Промежуточные решения, которые используются для облегчения компромиссов между слегка отличающимися от основных чисел суждениями
Обратные величины приведенных выше чисел	Если при сравнении фактора А с фактором В получено одно из вышеуказанных чисел (например, 3), то при обратном сравнении фактора В с фактором А получим обратную величину (то есть 1/3)

Таблица 2

Матрица парных сравнений факторов

Оценка факторов	Технологические	Экологические	Экономические	Человеческие
Технологические	1	1/4	1/5	3
Экологические	4	1	1/3	2
Экономические	5	3	1	5
Человеческие	1/3	1/2	1/5	1

Теперь перейдем к парным сравнениям элементов на нижнем уровне (табл. 3). Получаем четыре матрицы суждений размерностью 3x3, поскольку имеется четыре критерия на втором уровне и три объекта, которые попарно сравниваются по каждому из критериев.

В качестве альтернатив предлагается рассмотреть 3 объекта по хранению и уничтожению химического оружия, на каждом из которых в процессе деятельности образуются жидкие отходы: А – объект по УХО в г. Камбарка Удмуртской Республики, Б – строящийся объект по УХО в п. Кизнер Удмуртской Республики, который рассматривается в данном случае с учётом технологических решений, принятых на стадии проектирования; В – объект по сжиганию высокотоксичных химических веществ в г. Мюнстер (Германия). Коэффициенты приоритетности по каждой альтернативе также определяются ЛПР, на основе следующих характеристик каждой из альтернатив:

– объект А: принятая технология уничтожения высокотоксичных веществ – нейтрализация 20% NaOH с последующим выпариванием реакционных масс; температура в реакторе – 75 °С; общее количество уничтожен-

ного ОВ – 6349 т; количество ступеней очистки сточных вод – 3; используемый окислитель H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; количество наработанных и переработанных реакционных масс – 40 тыс. т; состояние очистных сооружений – хорошее; комплектация лабораторного комплекса по анализу сточных вод – полная; расстояние до водного объекта – 3 км; нормативно-допустимый сброс сточных вод – установлен; квалификация обслуживающего персонала – высокая, численность сотрудников объекта – 900 человек [5];

– объект Б – принятая технология уничтожения высокотоксичных веществ – детоксикация моноэтаноламином (при уничтожении зарина, зомана) и рецептура РД-4М (при уничтожении V<sub>x</sub>) с последующей битумизацией реакционных масс; общее количество подлежащего уничтожению ОВ – 5745 т; температура в реакторе – 45–70 °С; количество ступеней очистки сточных вод – 3; используемый окислитель KMnO<sub>4</sub>; состояние очистных сооружений – неудовлетворительное (планируется полная их реконструкция); расстояние до водного объекта – 2 км; нормативно-допустимый сброс сточных вод – не установлен; ожидаемая численность сотрудников объекта – 1200 человек [6];

Таблица 3

Матрицы парных сравнений для выбранных альтернатив

Технологические факторы	А	Б	В	Экологические факторы	А	Б	В
А	1	9	5	А	1	9	1
Б	1/9	1	1/2	Б	1/9	1	1/9
В	1/5	2	1	В	1	9	1
Экономические факторы	А	Б	В	Человеческий фактор	А	Б	В
А	1	5	1/2	А	1	5	1/2
Б	1/5	1	1/7	Б	1/5	1	1/6
В	2	7	1	В	2	6	1

объект В – применяется технология сжигания высокотоксичных веществ; объём образования сточных вод значителен в силу того, что вода используется для улавливания мышьяксодержащих ЗВ в газах; количество ступеней очистки сточных вод – 2; используемый окислитель  $KMnO_4$ ; состояние очистных сооружений – хорошее; комплектация лабораторного комплекса по анализу сточных вод – полная; расстояние до водного объекта – 1 км; экологические нормативы – менее жёсткие по сравнению с российскими; квалификация обслуживающего персонала – высокая, численность сотрудников объекта – около 30 человек [7].

Для полученных приоритетов в серии указанных параметров проводим вычисление вектора приоритетов (по первой матрице). Полученные значения оценок векторов приоритетов: для 1 ряда матрицы – 0,12; для 2 ряда ма-

трицы – 0,24; для 3 ряда матрицы – 0,56; для 4 ряда матрицы – 0,08.

Умножение вектора приоритетов на матрицу для оценки согласованности, отражающей пропорциональность предпочтений, позволило получить следующие результаты: для 1 ряда матрицы – 0,53; для 2 ряда матрицы – 1,06; для 3 ряда матрицы – 2,28; для 4 ряда матрицы – 0,35.

Максимальное собственное значение  $\lambda_{max}$ , используемое для оценки согласованности, равно 4,34, что говорит о согласованности результата, поскольку  $\lambda_{max}$  близко к  $n=4$  (число параметров). Рассчитанное из соотношения индекса согласованности (ИС=0,08) (формула 1) и случайного индекса (СИ=0,9) отношение согласованности ОС (формула 2) равно 0,09 и считается приемлемым, поскольку оно меньше 0,1 (10 %).

Таблица 4

Оценка представленных альтернатив по каждому фактору

Технологические факторы	А	Б	В	Вектор приоритетов	Экологические факторы	А	Б	В	Вектор приоритетов
А	1	9	5	0,67	А	1	9	1	0,46
Б	1/9	1	1/2	0,13	Б	1/9	1	1/9	0,09
В	1/5	2	1	0,21	В	1	9	1	0,46
				ИС=0,05 ОС=0,097 $\lambda_{max}=3,17$					ИС=0,069 ОС=0,1 $\lambda_{max}=3,2$
Экономические факторы	А	Б	В	Вектор приоритетов	Человеческий фактор	А	Б	В	Вектор приоритетов
А	1	5	1/2	0,35	А	1	5	1/2	0,35
Б	1/5	1	1/7	0,11	Б	1/5	1	1/6	0,12
В	2	7	1	0,54	В	2	6	1	0,52
				ИС=0,052 ОС=0,091 $\lambda_{max}=3,16$					ИС=0,053 ОС=0,092 $\lambda_{max}=3,16$

Таблица 5

Определение глобальных приоритетов по каждой альтернативе

	Технологич. фактор (0,12)	Экологич. фактор (0,24)	Экономич. фактор (0,56)	Человеч. фактор (0,08)	Обобщённые или глобальные приоритеты
А	0,67	0,46	0,35	0,35	0,414
Б	0,13	0,09	0,11	0,12	0,108
В	0,21	0,46	0,54	0,52	0,479

$$ИС = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (1),$$

$$ОС = \frac{ИС}{СИ} \quad (2).$$

Отсюда следует, что приоритеты в матрице расставлены верно, и эти факторы будут наиболее значимыми в определении эффективности обращения с жидкими отходами.

Для выбора оптимальной альтернативы проводится попарное сравнение альтернатив по каждому из рассматриваемых факторов с определением вектора приоритетов,  $\lambda_{\max}$ , ИС и ОС (табл. 4).

Для выбора оптимального варианта одной из представленных альтернатив вычисляем значения глобальных приоритетов (табл. 5).

На примере работы объектов по УХО в г. Камбарка, п. Кизнер и в г. Мюнстер (Германия) применение метода анализа иерархий показало, что обращение с жидкими отходами на объектах УХО в г. Камбарка и в г. Мюнстер характеризуется одинаковой достаточно высокой эффективностью (разница в глобальных приоритетах в пределах 10% незначительна). При этом на объекте г. Камбарка это обусловлено высокой значимостью преимущественно технологического (химический способ уничтожения ОВ вместо сжигания) и экологического факторов (более жесткие требования к качеству сточных вод), на объекте УХО в г. Мюнстер – экономического (не испытывает недостатка финансирования) и человеческого факторов. Строящийся в п. Кизнере объект по УХО получит высокую оценку факторов в случае стабильного финансирования строительства, реконструкции очистных сооружений и полной реализации предусмотренных проектом мер по обращению с жидкими отходами.

### Выводы

Эффективность обращения с жидкими отходами в процессе уничтожения вы-

сокотоксичных веществ (на примере уничтожения химического оружия) определяется 4 группами основных факторов, которые включают широкий перечень показателей, начиная от состава отравляющих веществ, финансирования объекта, квалификации обслуживающего персонала и заканчивая соблюдением установленных экологических нормативов.

Оценка этих факторов при обращении с жидкими отходами на объектах УХО методом анализа иерархий показала, что возможна количественная оценка этого процесса (вектор приоритетов, ИС, ОС), которая делает применение данного подхода полезным для выявления «слабых» мест в технологии и организации, что необходимо учитывать на стадии проектирования объекта.

Применение данного метода свидетельствует о том, что обращение с жидкими отходами на объектах УХО в г. Камбарка и в г. Мюнстер характеризуется одинаковой достаточно высокой эффективностью. При этом на объекте г. Камбарка это обусловлено высокой значимостью преимущественно технологического и экологического факторов, на объекте УХО в г. Мюнстер – экономического и человеческого факторов. Строящийся в п. Кизнере объект по УХО получит высокую оценку факторов в случае стабильного финансирования строительства, реконструкции очистных сооружений и полной реализации предусмотренных проектом мер по обращению с жидкими отходами.

### Литература

1. Цапок М. В. Разработка и исследование методов технического мониторинга химически опасных объектов на пересечённой местности: дис... канд. техн. наук. Ижевск: ИжГТУ, 2008. 23 с.
2. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование: организация систем. М.: Радио и связь, 1991. 224 с.
3. Саати Т. Принятие решений: метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 278с.

4. Ганжа О.А. Оценка факторов, оказывающих влияние на уровень шума в зоне городских транспортных пересечений на одном уровне // Вестник ВолгГАСУ. Серия: Строительство и архитектура. 2007. № 7. С. 239–243.

5. Петрунин В.А., Баранов Ю.И., Кузнецов Б.А., Русанов В.М., Горский В.Г., Швыряев Б.В., Смирягина Т.Г., Сохадзе Л.А., Привезенцев Ю.В., Гореленко С.В. Математическое моделирование процесса щелочного гидролиза люизита // Российский химический журнал. 1995. Т. 39. № 4. С. 15–17.

6. Корректировка технико-экономического обоснования (проекта) на строительство объекта по уничтожению химического оружия на территории Кизнерского района Удмуртской Республики. Волгоград. 2006.

7. Абрамова А. А. Сравнительный анализ систем безопасности обращения со сточными водами на объектах уничтожения отравляющих веществ в России и Германии // Система управления экологической безопасностью: Труды заоч. междунар. науч.-практич. конференции. Екатеринбург. 2008. С. 19–23.