

## МЕТОДИКА ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ РАБОТ В РАДИАЦИОННО-ОПАСНЫХ УСЛОВИЯХ

В. Г. Батий<sup>1</sup>, В. В. Деренговский<sup>1</sup>, Ю. В. Малахов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль

<sup>2</sup>"Киевэнергопроект", Киев

Предложен методический подход выбора оптимальных решений при производстве работ в радиационно-опасных условиях. Разработан алгоритм принятия оптимального решения при возможной недостоверности или недостаточности данных. Найдены подходящие функции желательности для количественных и качественных критериев оптимального выбора. Даны рекомендации по применению данной методики.

Целью настоящей работы является разработка методики принятия решений на основе многокритериального анализа и системы экспертных оценок при производстве работ в радиационно-опасных условиях при соблюдении ограничений, перечисленных в нормативно-правовых актах, технических спецификациях и др.

Рассматриваемая методика предполагает анализ вариантов с целью выбора оптимального. При этом предпочтительность выбора не может быть охарактеризована единственным критерием, следовательно, задача выбора является многокритериальной. Необходимо отметить, что ряд критериев, используемых для выбора варианта, не имеет выражения в денежном эквиваленте (например, коллективная доза населения, превышение предела доз и т.п.). В этой ситуации наиболее эффективным методом решения задачи выбора является многокритериальный анализ, который применяется в теории управления [1, 4].

Для решения указанной задачи необходимо разработать методику принятия решения по выбору наиболее приемлемого варианта при соблюдении ограничений, перечисленных в нормативно-правовых актах, документах заказчика, технических спецификациях и др.

Суть метода многокритериального анализа функции желательности состоит во введении агрегированного критерия, в котором объединяются все другие критерии [1]. С этой целью для каждого критерия осуществляется построение функции желательности  $u_j(x)$ , которая отображает область изменения каждого из критериев  $x$  в диапазоне баллов, изменяющихся от 0 до 1.

Обобщенный показатель эффективности  $W_i$   $i$ -го варианта определяется как сумма соответствующих функций желательности

$$W_i = \sum_{j=1}^n k_j u_j(x_{ji}) \quad (1)$$

с весовыми коэффициентами  $k_j$ , которые выбираются так, чтобы

$$\sum_{j=1}^n k_j = 1. \quad (2)$$

Для решения поставленной задачи разработан следующий алгоритм принятия оптимального решения, представленный на рис. 1. Первым шагом данного алгоритма является анализ воздействия проектируемых работ. На основании полученного анализа разрабатывается перечень возможных вариантов (шаг 2) и при помощи качественного анализа выбираются наиболее перспективные для последующего изучения (шаг 3). После этого уточняются критерии выбора варианта (шаг 4), определяются весовые коэффициенты (шаг 5) и для каждого из критериев выполняются расчеты численных критериев с указанием границ изменения параметров (шаг 6). Для качественных критериев группой экспертов проводится оценка анализируемых вариантов с указанием границ изменения параметров (шаг 7). Далее для каждого варианта вычисляется обобщенный показатель эффективности  $W_i$

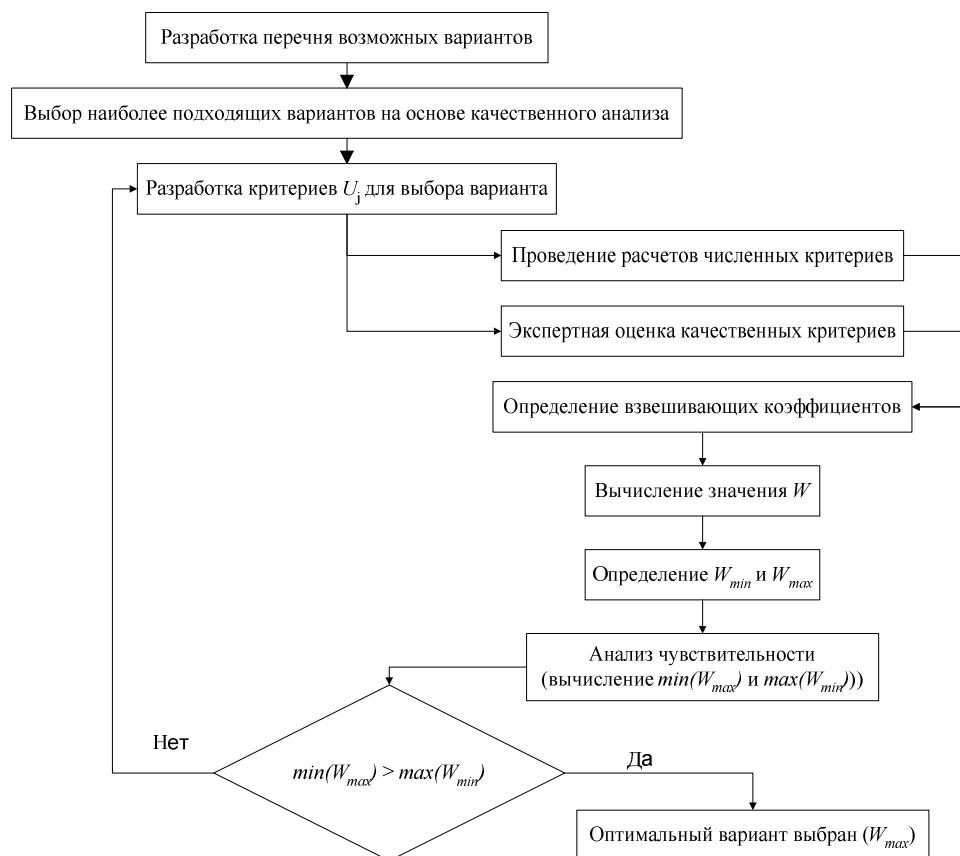


Рис. 1. Схема проведения выбора оптимального варианта.

(шаг 8), среди которых определяется максимальное значение  $W_{max}$  и ближайшее по величине значение обобщенного показателя эффективности  $W_{max-1}$  (максимальное из оставшихся значений) (шаг 9). Поскольку некоторые из критериев имеют оценочный характер, необходимо провести анализ чувствительности полученного выбора от вариации параметров в границах изменений (шаг 10), т.е. определить, не изменится ли выбор оптимального варианта при различных значениях параметров расчетов в границах их изменений. Далее определяется минимальное значение обобщенного показателя эффективности для оптимального варианта при вариации параметров  $min(W_{max})$  и максимальное значение обобщенного показателя эффективности для ближайшего варианта при вариации параметров  $max(W_{max-1})$ . Если  $min(W_{max}) > max(W_{max-1})$  (шаг 11), то полученный вариант будет оптимальным (шаг 12). Если же  $min(W_{max}) \leq max(W_{max-1})$  (шаг 11), то либо все варианты равноценны между собой, либо необходимо провести повторную корректировку перечня критериев, уточнения границ изменения параметров, оценок качественных критериев и определение весов критериев.

Следующим шагом алгоритма необходимо определить критерии принятия оптимального решения [1, 4]. Учитывая опыт выполнения работ по усилению блока балок Б1/Б1, подготовку проекта стабилизации строительных конструкций объекта “Укрытие”, а также требования украинских и международных требований и рекомендаций по соблюдению принципа ALARA, предложены к рассмотрению следующие критерии принятия оптимального решения:

- 1)  $C$  - стоимость выполнения работ (включая затраты на противорадиационную защиту и обращение с радиоактивными отходами);
- 2)  $D$  - коллективная эффективная доза (КЭД) при реализации мероприятий;
- 3)  $R_p$  - коллективный радиологический риск персонала (без учета КЭД при реализации мероприятия);

- 4)  $R_N$  - коллективный радиологический риск населения;
- 5)  $F$  - финансовый риск;
- 6)  $T$  - время реализации проекта;
- 7)  $Q$  - величина риска ухудшения условий проведения регламентных работ, строительства нового безопасного конфайнмента, извлечения топливосодержащих материалов и т.д.

Все перечисленные критерии в зависимости от степени проработки проектных решений, полноты и достоверности исходных данных могут быть рассчитаны с известной относительной погрешностью. При отсутствии полноты и/или достоверности исходных данных, а также недостаточной детальности проработки проектных решений при помощи экспертных систем проводится оценка необходимых данных, и соответствующие критерии будут иметь оценочные значения с указанием относительной погрешности или закона распределения. Кроме того, в общем случае все критерии могут быть как количественными, так и качественными. Чаще всего качественными являются критерии, оцененные при помощи экспертных систем.

В большинстве случаев первые шесть критериев являются количественными. Седьмой критерий, обычно, является качественным. Теоретически качественная оценка может быть проведена различными способами. Один из наиболее доступных и содержательно обоснованных – применение метода экспертных оценок.

Для вычисления  $Q$  - величины риска ухудшения условий проведения регламентных работ, строительства нового безопасного конфайнмента, извлечения ТСМ и т.д. воспользуемся методом непосредственного оценивания на основе универсальной 9-бальной шкалы. Проанализировав перечисленные критерии, шкала оценок будет иметь следующий вид [5]: 1 – пренебрежимый риск; 3 – низкий риск; 5 – неизменный риск; 7 – высокий риск; 9 – неприемлемый риск; 2, 4, 6, 8 – промежуточные значения между соседними значениями шкалы.

В качестве меры согласованности мнений экспертов можно принять расхождение в оценках не более двух баллов, что соответствует примерно 20 % погрешности всей шкалы. Получать более точные значения не имеет смысла, поскольку количественные критерии не могут быть вычислены с большей точностью (погрешности приборов измерений, составлений проекта производства работ, исходных данных и т.д.).

Для построения функции желательности для всех количественных критериев предложены следующие варианты:

1) для монотонно убывающих, безразличных к риску и имеющих границу сверху критериев простые линейные функции вида

$$u_i = 1 - \frac{X}{X_{\max}}, \quad (3)$$

где  $i = 1, \dots, 7$ ;  $X$  – значение критерия;  $X_{\max}$  – максимальное значение критерия;

2) если установить верхнюю границу значения критерия не представляется возможным и для некоторых случаев построения функции желательности всех количественных критериев функция вида

$$u_i = \text{EXP}(-0,7 \cdot (X / A)^4), \quad (4)$$

где  $i = 1, \dots, 7$ ;  $X$  - значение критерия;  $A$  - константа, которая определяется как среднее значение  $i$ -го критерия всех рассматриваемых вариантов.

Для сравнения качественных критериев функцию желательности можно определить следующим образом ( $i=1..7$ ):  $u_i(9) = 0$ ;  $u_i(8) = 0.125$ ;  $u_i(7) = 0.25$ ;  $u_i(6) = 0.375$ ;  $u_i(5) = 0.5$ ;  $u_i(4) = 0.625$ ;  $u_i(3) = 0.75$ ;  $u_i(2) = 0.875$ ;  $u_i(1) = 1$ .

Для определения весовых коэффициентов можно воспользоваться системой экспертных оценок методом непосредственного оценивания на основе универсальной 9-бальной шкалы [2, 3]. На основе этого метода весовые коэффициенты могут быть получены следующим образом:

$$k_i = \frac{M_i}{\sum_{i=1}^n M_i}, \tag{5}$$

где  $M_l$  – медианная оценка экспертов по определению веса критерия  $l$  на основе универсальной 9-балльной шкалы.

Графическое представление указанных выше функций желательности показано на рис. 2.

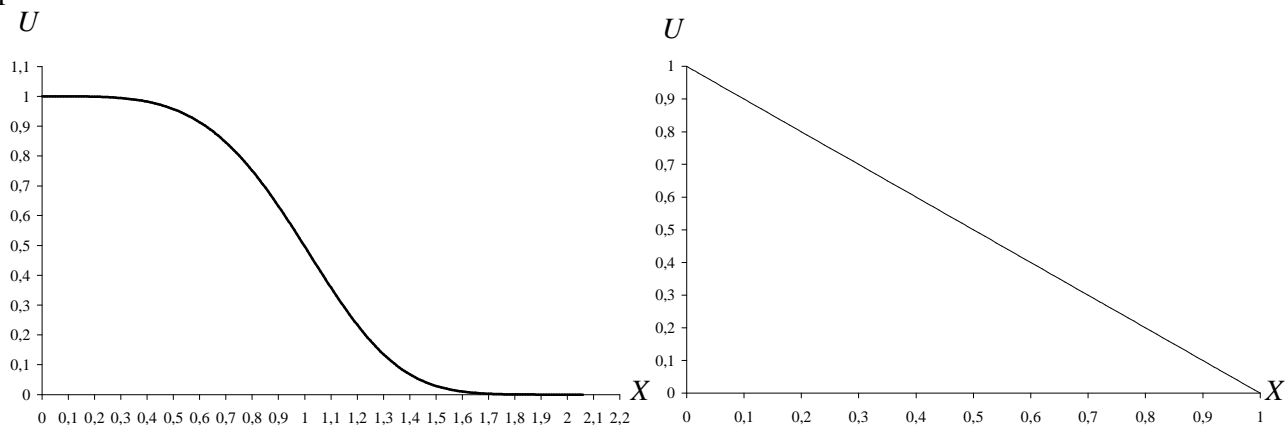
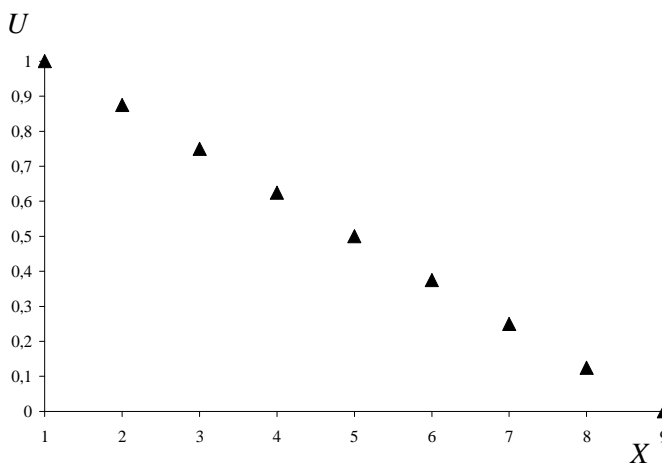


Рис. 2. Вид функции желательности  $u$  для количественных критериев

График функции желательности для качественных критериев имеет дискретный характер, так как функция определена только в девяти точках (рис. 3).



В качестве базового предположения можно утверждать, что все критерии равнозначны между собой:  $k_1 = k_2 = k_3 = k_4 = k_5 = k_6 = k_7 = 1/7$ . Если же существуют какие-либо данные или соотношения между выбранными критериями или лицо, принимающее решение (ЛПР), имеет свое представление о значимости критериев, то необходимо, качественных используя формулу (5), определить более адекватно весовые коэффициенты.

Рис. 3. Вид функции желательности  $u$  для качественных критериев.

Пусть  $C_1, C_2, \dots, C_M$  - стоимости предложенных  $M$  вариантов;  $D_1, D_2, \dots, D_M$  – КЭД;  $R_p^1, R_p^2, \dots, R_p^M$  – коллективный радиологический риск персонала;  $R_N^1, R_N^2, \dots, R_N^M$  – коллективный радиологический риск населения;  $F_1, F_2, \dots, F_M$  – финансовый риск;  $T_1, T_2, \dots, T_M$  – время реализации проекта;  $Q_1, Q_2, \dots, Q_M$  - величины риска ухудшения условий проведения работ для всех предложенных  $M$  вариантов. Тогда для сравнения вариантов можно записать следующую формулу:

$$W_i = k_1 \cdot \text{EXP}(-0.7 \cdot (M \cdot C_i / (\sum_{j=1}^M C_j))^4) + k_2 \cdot \text{EXP}(-0.7 \cdot (M \cdot D_i / (\sum_{j=1}^M D_j))^4) + k_3 \cdot \text{EXP}(-0.7 \cdot (M \cdot R_p^i / (\sum_{j=1}^M R_p^j))^4) + k_4 \cdot \text{EXP}(-0.7 \cdot (M \cdot R_N^i / (\sum_{j=1}^M R_N^j))^4) + k_5 \cdot \text{EXP}(-0.7 \cdot (M \cdot F_i / (\sum_{j=1}^M F_j))^4) + k_6 \cdot u_6(T_i) + k_7 \cdot u_7(Q_i) \tag{6}$$

В том случае, когда критерии имеют одинаковые ранги формулу (6) можно записать как

$$\begin{aligned}
 W_i = & (EXP (-0.7 \cdot (M \cdot C_i / (\sum_{j=1}^M C_j)))^4) + EXP (-0.7 \cdot (M \cdot D_i / (\sum_{j=1}^M D_j)))^4) + \\
 & + EXP (-0.7 \cdot (M \cdot R_p^i / (\sum_{j=1}^M R_p^j)))^4) + EXP (-0.7 \cdot (M \cdot R_N^i / (\sum_{j=1}^M R_N^j)))^4) + \\
 & + EXP (-0.7 \cdot (M \cdot F_i / (\sum_{j=1}^M F_j)))^4) + u_6 (T_i) + u_7 (Q_i) / 7
 \end{aligned} \tag{7}$$

Оптимальным считается вариант, имеющий наибольшее значение обобщенного показателя эффективности  $W_{max} = \max(W_i, i = 1, \dots, M)$ .

Поскольку некоторые из критериев имеют оценочный характер, необходимо провести анализ чувствительности полученного выбора от вариации параметров в границах изменений, т.е. определить, не изменится ли выбор оптимального варианта при различных значениях параметров расчетов в границах их изменений. Для каждого варианта вычисляется обобщенный показатель эффективности  $W_i$ , среди которых определен  $W_{max}$  и ближайшее по величине значение обобщенного показателя эффективности  $W_{max-1}$  (максимальное из оставшихся значений). Далее определяется минимальное значение обобщенного показателя эффективности для оптимального варианта при вариации параметров  $\min(W_{max})$  и максимальное значение обобщенного показателя эффективности для ближайшего варианта при вариации параметров  $\max(W_{max-1})$ . Если  $\min(W_{max}) > \max(W_{max-1})$ , то полученный вариант будет оптимальным. Если же  $\min(W_{max}) \leq \max(W_{max-1})$ , то либо все варианты равноценны между собой, либо необходимо провести повторную корректировку перечня критериев, уточнения границ изменения параметров, оценок качественных критериев и определение весов критериев.

Для окончательного утверждения выбора нам необходимо, чтобы  $\min(W_{max}) > \max(W_{max-1})$  или, как следствие,  $\min(W_{max}) - \max(W_{max-1}) > 0$ . Тогда полученный вариант будет оптимальным с учетом погрешностей определения значений критериев.

Применение данного метода в процессе производства работ в радиационно-опасных условиях может позволить принимать обоснованные решения о целесообразности той или иной деятельности (принцип "оправданности"), обеспечить более высокий уровень планирования работ с целью недопущения превышения установленных пределов доз и допустимых уровней (принцип "непревышения"), выбрать оптимальные проектные решения, их способ реализации и оптимизировать радиационную защиту (принцип "оптимизации").

Использование данного метода позволяет в условиях недостаточности исходных данных проводить анализ и сравнение вариантов реализации радиационно-опасных работ, у которых критериев оценки несколько и они не могут сравниваться в исходном виде.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кини Р., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения / Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1981. - 560 с.
2. Уотермен Д. Руководство по экспертным системам / Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. - 388 с.
3. Форсайт Р. Экспертные системы. Принцип работы и примеры / Пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1987. - 224 с.
4. Кини Р. Размещение энергетических объектов: выбор решений / Пер. с англ. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 318 с.
5. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993.

Поступила в редакцию 15.12.05

**МЕТОДИКА ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНИХ РІШЕНЬ ПРИ ВИКОНАННІ РОБІТ  
У РАДІАЦІЙНО-НЕБЕЗПЕЧНИХ УМОВАХ**

**В. Г. Батій, В. В. Деренговський, Ю. В. Малахов**

Запропоновано методичний підхід вибору оптимальних рішень при виконанні робіт у радіаційно-небезпечних умовах. Розроблено алгоритм прийняття оптимального рішення при можливій недостовірності або недостатності даних. Знайдено відповідні функції бажаності для кількісних та якісних критеріїв оптимального вибору. Наведено рекомендації по застосуванню даної методики.

**TECHNIQUE FOR OPTIMAL DECISION CHOICE DURING A WORK PERFORMING IN RADIATION  
HAZARD CONDITIONS**

**V. G. Batiy, V. V. Derenovskiy, Yu. V. Malakhov**

Technique for optimal decision choice during a work performing in radiation hazard conditions was proposed. Algorithm of optimal decision acceptance with taking into account possible lack of data or the data inauthenticity was developed. Appropriate desirability functions for quantity and quality criteria of optimal choice were found. Recommendations for the technique utilization were given.