



УДК 621.039

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ВАРИАНТА ВЫВОДА ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

Бочкарев В. В. (bochkarev@secnrs.ru), Абакумова А. С. (abakumova@secnrs.ru)
(ФБУ «НТЦ ЯРБ»),

Крянев А. В. (avkryanev@mephi.ru), д. ф.-м. н., профессор (НИЯУ МИФИ)

Статья посвящена описанию одного из возможных подходов к обоснованию выбора варианта вывода из эксплуатации объектов использования атомной энергии (в том числе окончательно остановленных для вывода из эксплуатации) с целью разработки и уточнения программы и проекта вывода из эксплуатации.

► **Ключевые слова:** объект использования атомной энергии, вывод из эксплуатации, выбор варианта вывода из эксплуатации, многофакторный анализ, весовой коэффициент значимости фактора.

JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF DECOMMISSIONING OPTION FOR NUCLEAR FACILITIES

Bochkarev V., Abakumova A. (SEC NRS),
Kryanev A., Ph. D. (MEPHI)

This paper describes one of the possible approaches to the justification of the choice of the decommissioning option for nuclear facilities (including those that were finally shut down for decommissioning) for the development and refinement of the decommissioning plan and decommissioning project.

► **Key words:** nuclear facilities, decommissioning, choice of the decommissioning option, multiple factor analysis, weighting coefficient of factor importance.

В действующих федеральных нормах и правилах в области использования атомной энергии содержатся требования о наличии обоснования выбранного варианта вывода из эксплуатации (ВЭ) объекта использования атомной энергии (ОИАЭ) (п. 13 НП-091-14 [1], п. 7 НП-057-17 [2], п. 17 НП-007-17 [3], п. 8 НП-012-16 [4]). При этом в обосновании должно содержаться описание различных вариантов ВЭ и оценка возможности реализации каждого из них с учетом технико-экономических показателей.

В настоящее время в качестве возможных вариантов ВЭ ОИАЭ рассматриваются «ликвидация» (немедленная ликвидация или отложенная ликвидация) и «захоронение на месте». Каждый из этих вариантов имеет свои достоинства и недостатки, поэтому зачастую сложно отдать обоснованное предпочтение одному из них, особенно если отсутствует общая концепция по ВЭ определенных видов ОИАЭ, однозначно определяющая тот или иной вариант.

В мировой практике [5 – 7] при определении варианта ВЭ, как правило, используется многофакторный анализ параметров, которые влияют на выбор того или иного варианта. Следовательно, задачу по выбору и обоснованию варианта ВЭ можно представить как задачу поиска оптимального решения в многокритериальном пространстве [8 – 10] и условно разбить на следующие этапы:

- определение параметров (факторов), которые необходимо учитывать и которые влияют на выбор того или иного варианта ВЭ;
- проведение многофакторного анализа, решение задачи оптимизации;
- сравнительная оценка вариантов ВЭ по полученным результатам многофакторного анализа;
- принятие обоснованного решения о выборе варианта ВЭ.

В настоящей статье предлагается следующий подход к выбору и обоснованию варианта ВЭ ОИАЭ: при сопоставлении рассматриваемых возможных вариантов ВЭ рекомендуется опираться на методы многофакторного выбора на конечном множестве альтернатив (вариантов ВЭ ОИАЭ) с учетом следующего минимального набора факторов:

- количественного показателя медико-социального обоснования соотношения «польза-вред» в соответствии с принципом обоснования;
- величины расходов, связанных с реализацией каждого из рассматриваемых вариантов ВЭ.

На этапе идентификации вариантов ВЭ ОИАЭ

для каждого варианта ВЭ ОИАЭ определяются количественные значения каждого фактора.

В качестве минимального набора факторов, комбинации которых используются в рассматриваемых вариантах ВЭ, предлагается руководствоваться следующим примерным перечнем.

1) Фактор по медико-социальному обоснованию соотношения «польза-вред» рекомендуется определять на основе количественных показателей пользы и вреда для здоровья в результате облучения при осуществлении деятельности. При этом для количественной оценки используется формула:

$$K_{1j} = U_{0j} - U_{1j}, \quad (1)$$

где: K_{1j} – количественное значение первого фактора для j -го варианта ВЭ ОИАЭ; U_{1j} – вред, наносимый здоровью людей (персоналу ОИАЭ, населению) и окружающей среде от облучения, не устраненного защитными мерами при реализации j -го варианта ВЭ ОИАЭ; U_{0j} – вред для здоровья в результате отказа от реализации j -го варианта ВЭ ОИАЭ; в простейшем случае может рассматриваться как вред для здоровья в результате отказа от ВЭ. При этом под вредом от облучения за одинаковые отрезки времени понимается сокращение числа человеко-лет жизни.

В соответствии с Основными санитарными правилами обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010) [11] облучение в коллективной эффективной дозе в 1 человеко-зиверт (далее – чел.-Зв) приводит к потере 1 человеко-года жизни. Мерой вреда для здоровья можно рассматривать коллективную эффективную дозу. Расчет коллективной эффективной дозы рекомендуется проводить на основании сценариев, характерных для реализации каждого из рассматриваемых вариантов ВЭ.

2) Финансово-экономический фактор по расходам, связанным с реализацией каждого из рассматриваемых вариантов ВЭ, рекомендуется определять на основании сформированных наборов работ по формуле:

$$K_{2j} = \sum_{k=1}^s V_{kj}, \quad (2)$$

где: K_{2j} – количественное значение фактора 2 для j -го варианта ВЭ ОИАЭ; V_{kj} – расходы на выполнение k -ой работы для j -го варианта ВЭ ОИАЭ.

Набор факторов может быть расширен с учетом конкретных характеристик ОИАЭ и места

его расположения. При этом фактор не может быть выбран, если его количественное значение одинаково для всех вариантов ВЭ ОИАЭ.

Помимо основных вышеперечисленных факторов можно и нужно учитывать ряд дополнительных факторов, которые в совокупности могут повлиять на принятие решения о выборе варианта ВЭ, а также повысить точность проводимых оценок и расчетов:

- возможность обращения (извлечения, переработки, кондиционирования, транспортирования к существующему пункту захоронения и захоронение) с накопленными и эксплуатационными отходами;
- техническая возможность демонтажа основного и вспомогательного оборудования, зданий и сооружений;
- возможность повторного использования основного и вспомогательного оборудования, зданий и сооружений;
- возможность удаления загрязненной почвы;
- наличие централизованных пунктов окончательной изоляции РАО;
- возможность переработки и захоронения образующихся нерадиоактивных отходов;
- полнота соответствия требованиям ядерной, радиационной и промышленной безопасности;
- наличие соответствующих ресурсов (например, финансовых, людских и т. д.);
- наличие соответствующего нормативного правового обеспечения;
- социальные/политические факторы;
- возможность повторного использования площадки ОИАЭ (части ОИАЭ).

Для количественного определения факторов, подразумевающих наличие (отсутствие) какого-либо признака, рекомендуется использовать значение «0» в случае отсутствия признака и значение «1» – в случае его наличия.

Перед использованием для численных расчетов выбранные факторы должны быть нормализованы и обезразмерены согласно равенствам K_{ij}^H :

$$K_{ij}^H = \frac{K_i^{max} - K_{ij}}{K_i^{max} - K_i^{min}}, i = 1, n, j = 1, \dots, m, \quad (3)$$

где:

m – число рассматриваемых вариантов ВЭ ОИАЭ;

n – число факторов, отобранных для сопоставления вариантов ВЭ ОИАЭ;

K_i^{max} – максимальное значение i -го фактора всех m вариантов ВЭ ОИАЭ;

K_i^{min} – минимальное значение i -го фактора всех m вариантов ВЭ ОИАЭ;

K_{ij} – ненормализованное (нормализуемое) значение i -го фактора для j -го варианта ВЭ ОИАЭ.

При нормализации факторов следует учитывать качественное влияние значения фактора на выбор варианта ВЭ ОИАЭ следующим образом:

- оставлять знак количественного значения нормализованного фактора положительным в случае если предпочтительна минимизация фактора;
- менять знак количественного значения нормализованного фактора на противоположный, если предпочтительна максимизация фактора.

Затем проводится ранжирование факторов, количественные оценки их важности с учетом ранжирования, определяется многофакторная ценность каждого варианта ВЭ ОИАЭ.

Методом парных сравнений Саати [12] для каждого фактора определяется его весовой коэффициент, учитывающий значимость этого фактора. Весовые коэффициенты в схеме Саати оцениваются экспертно с помощью матрицы парных сравнений:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n1} & a_{n1} & \dots & 1 \end{pmatrix}, \quad (4)$$

где $a_{il} = \frac{1}{a_{li}}$, причем если $a_{il} > 1$, то это

означает, что для эксперта i -й фактор в a_{il} раз более значим, чем l -й фактор.

Затем для матрицы A находится наибольшее собственное значение $\lambda_{max} \geq n$ и соответствующий

ему собственный вектор $\vec{y} = (y_1, \dots, y_n)^T$ где все компоненты $y_i > 0$.

После этого подсчитываются коэффициенты значимости факторов α_i каждого фактора K_{ij}^H , где $i = 1, \dots, n$, по следующей формуле:

$$\alpha_i = \frac{y_i}{\sum_{i=1}^n y_i}, i = 1, \dots, n. \quad (5)$$

Более простой схемой расчета коэффициентов значимости факторов α_i каждого фактора K_{ij}^H , где $i = 1, \dots, n$, является их расчет по формуле:

$$\alpha_i = \frac{\sqrt[n]{\sum_{l=1}^n a_{il}}}{\sum_{i=1}^n \sqrt[n]{\sum_{l=1}^n a_{il}}}, i = 1, \dots, n. \quad (6)$$

Для предварительных оценок можно использовать упрощенную формулу нахождения весовых коэффициентов:

$$a_i = \frac{\sum_{l=1}^n a_{il}}{\sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^n a_{il}}, i = 1, \dots, n. \quad (7)$$

При выборе весовых коэффициентов в соответствии с принципом обоснования (приложение 1 к [11]) приоритет рекомендуется отдавать показателям здоровья, а не экономическим выгодам.

Затем рассчитываются комплексные показатели для каждого варианта ВЭ ОИАЭ:

$$F_j = \sum_{i=1}^n a_i \cdot K_{ij}^H, j = 1, \dots, m \quad (8)$$

и производится их ранжирование:

$$F_{(1)} \geq F_{(2)} \geq \dots \geq F_{(n)}. \quad (9)$$

После операции ранжирования осуществляется принятие предварительного решения по многофакторной задаче.

Предпочтительный вариант выбирается по максимальному значению комплексного показателя среди всех вариантов ВЭ ОИАЭ:

$$F_{j_{max}} = F_{(1)} = \max \sum_{i=1}^n a_i \cdot K_{ij}^H, j = 1, \dots, m. \quad (10)$$

Заключение

В настоящей статье предложен подход к обоснованию варианта вывода из эксплуатации ОИАЭ, основанный на проведении многофакторного анализа. Предложенный подход предусматривает определение нескольких возможных вариантов ВЭ ОИАЭ из эксплуатации, определение перечня основных и дополнительных факторов, влияющих на принятие решения о выборе того или иного варианта ВЭ ОИАЭ, и проведение сравнения вариантов ВЭ по данным факторам с предварительной оценкой приоритетов.

Предлагаемый подход позволит принимать оптимальные и обоснованные решения по выбору варианта ВЭ ОИАЭ с учетом его особенностей.

Список литературы

1. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Обеспечение безопасности при выводе из эксплуатации объектов использования атомной энергии. Общие положения. НП-091-14: утверждены приказом Ростехнадзора от 20.05.2014 г. № 216 (зарегистрирован в Минюсте России 14.07.2014 г. № 33086).
2. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Правила обеспечения безопасности при выводе из эксплуатации ядерных установок ядерного топливного цикла. НП-057-17: утверждены приказом Ростехнадзора от 14.06.2017 г. № 205 (зарегистрирован в Минюсте России 11.07.2017 г. № 47355).
3. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Правила обеспечения безопасности при выводе из эксплуатации промышленных уран-графитовых реакторов. НП-007-17: утверждены приказом Ростехнадзора от 08.09.2017 г. № 357 (зарегистрирован в Минюсте России 02.10.2017 г. № 48383).
4. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Правила обеспечения безопасности при выводе из эксплуатации блока атомной станции. НП-012-16: утверждены приказом Ростехнадзора от 10.01.2017 г. № 5 (зарегистрирован в Минюсте России 22.02.2017 г. № 45740).
5. IAEA-TECDOC-1478. Selection of decommissioning strategies: Issues and factors IAEA, 2005.
6. Decommissioning Nuclear Power Plants: Policies, Strategies and Costs. OECD 2003. Nuclear energy agency.
7. Lough W. T., Johnson W. R., White K. P. A Multi-Criteria Decision Aid for Evaluating Nuclear Power Plant Decommissioning, Proc. of an Int. Decommissioning. Symposium, Pittsburgh (1987).
8. Микони С. В. Многокритериальный выбор на конечном множестве альтернатив. СПб: издательство «Лань», 2009.
9. Ногин В. Д. Принятие решений при многих критериях. СПб.: издательство «ЮТАС», 2007.
10. Постников В. М., Спиридонов С. Б. Методы выбора весовых коэффициентов локальных критериев // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн., № 6, 2015.

11. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010). СП 2.6.1.2612 10.
12. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. Пер. с англ. Вачнадзе Р. Г. М., Радио и связь, 1993.

References

1. Federal Safety Regulations in the Field of Atomic Energy Use. Safety Ensuring in Decommissioning of Nuclear Facilities. General Provisions. NP-091-14: approved by the Order of Rostechndzor No. 216 of 20.05.2014 (registered in the Ministry of Justice of Russia on 14.07.2014 under the No. 33086).
2. Federal Safety Regulations in the Field of Atomic Energy Use. Safety Rules for Decommissioning of Nuclear Fuel Cycle Facilities. NP-057-17: approved by the Order of Rostechndzor No. 205 of 14.06.2017 (registered in the Ministry of Justice of Russia on 11.07.2017 under the No. 47355).
3. Federal Safety Regulations in the Field of Atomic Energy Use. Safety Rules for Decommissioning of Uranium-Graphite Industrial Reactors. NP-007-17: approved by the Order of Rostechndzor No. 357 of 08.09.2017 (registered in the Ministry of Justice of Russia on 02.10.2017 under the No. 48383).
4. Federal Safety Regulations in the Field of Atomic Energy Use. Safety Rules for Decommissioning of a NPP Power Unit. NP-012-16: approved by the Order of Rostechndzor No. 5 of 10.01.2017 (registered in the Ministry of Justice of Russia on 22.02.2017 under the No. 45740).
5. IAEA-TECDOC-1478. Selection of decommissioning strategies: Issues and factors IAEA, 2005.
6. Decommissioning Nuclear Power Plants: Policies, Strategies and Costs. OECD 2003. Nuclear energy agency.
7. Lough W. T., Johnson W. R., White K. P. A Multi-Criteria Decision Aid for Evaluating Nuclear Power Plant Decommissioning, Proc. of an Int. Decommissioning. Symposium, Pittsburgh (1987).
8. S. V. Mikoni. Multi-criteria selection based on a finite set of alternatives. St. Petersburg: Lan' Publishing Office, 2009.
9. V. D. Nogin. Multiple Criteria Decision Making. St. Petersburg: UTAS Publishing Office, 2007.
10. V. M. Postnikov, S. B. Spiridonov. Selecting Methods of the Weighting Factors of Local Criteria // Science and Education. Bauman Moscow State Technical University. Electronic Journal, No. 6, 2015.
11. Basic Sanitary Rules for Radiation Safety (OSPORB 99/2010). SP 2.6.1.2612 10.
12. T. Saati. Making Decisions. Method of Hierarchy Analysis. Translated into Russian by R. G. Vachnadze. Moscow: Radio and Communication, 1993.

