

### 3.3. СХЕМА СИСТЕМНЫХ ОЦЕНОК ОПТИМАЛЬНОГО ОБЪЕМА ФИНАНСИРОВАНИЯ, НАПРАВЛЯЕМОГО НА ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ВЫВОДИМЫХ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЯДЕРНО- И РАДИАЦИОННО-ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

Емец П.Е., аспирант кафедры прикладной математики;  
Крянев А.В., д.ф.-м.н., профессор, зам. зав. кафедры прикладной математики по научной работе

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

В настоящей работе предлагается схема системных оценок оптимального объема финансирования (с учетом его неопределенности), направляемого на обеспечение ядерной и радиационной безопасности выводимых из эксплуатации ядерно- и радиационно опасных объектов (ЯРОО). Данные системные оценки рассчитываются на основе количественных и качественных критериев, позволяющих в конечном итоге формировать решения об очередности вывода из эксплуатации совокупности ЯРОО, а также оценивать оптимальное распределение финансирования, направляемого на выведение из эксплуатации групп ЯРОО.

#### 1. ПЕРЕЧЕНЬ КРИТЕРИЕВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ОЧЕРЕДНОСТИ И ОБЪЕМОВ ФИНАНСИРОВАНИЯ РАБОТ ПО ПОДГОТОВКЕ ЯРОО К ВЫВОДУ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Установленный в нормативных правовых документах порядок подготовки к выводу ядерно- и радиационно-опасных объектов (ЯРОО) из эксплуатации и вывода ЯРОО из эксплуатации требует реализации комплекса технических и организационных мероприятий, направленных на достижение конечного состояния выводимого из эксплуатации ЯРОО. По мере реализации этих мероприятий должен снижаться уровень потенциальной опасности выводимого из эксплуатации ЯРОО [1-3].

Масштаб подлежащих выполнению работ по выводу ЯРОО из эксплуатации и обеспечение требуемого уровня безопасности этих работ требует привлечения для их реализации значительных финансовых ресурсов.

Для оценки эффективности объемов финансирования, выделяемых на подготовку к выводу из эксплуатации ЯРОО и выполнение работ по их выводу из эксплуатации с учетом неопределенности в исходных данных, представлены следующие критерии [4-5].

1. Критерий инвестиционной эффективности средств, выделенных на вывод из эксплуатации ЯРОО.
2. Неопределенность инвестиционной эффективности затрат на вывод из эксплуатации ЯРОО.
3. Комплексная качественная оценка ЯРОО на этапе подготовки к выводу из эксплуатации, подсчитываемая как взвешенная оценка частных качественных критериев.

#### 2. МЕТОДИКА РАСЧЕТА КРИТЕРИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСХОДОВ НА ВЫВОД ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЯРОО

Для системной оценки обеспечения ЯРБ нескольких объектов или групп объектов необходимо руководствоваться принципом взвешенного объединения численных значений критериев обеспечения ЯРБ с учетом соотношений ядерной и радиационной опасности (ЯРО) каждого объекта по отношению к ЯРО других объектов объединяемой группы.

Ясно, что конкретные численные значения получаемых оценок значений критериев ЯРБ и затрат на обеспечение ЯРБ будут иметь различные уровни неопределенности в зависимости от рассматриваемого ЯРОО. Для обоснованного расчета эффективного финансового обеспечения ЯРБ в разрабатываемой схеме учитывается фактор неопределенности и его системный характер.

С другой стороны, одной из основных задач при финансировании подготовки к выводу и выводу из эксплуатации ЯРОО является эффективное использование выделенных объемов финансирования. Для задач вывода из эксплуатации ЯРОО мерой эффективности финансирования является снижение ЯРО на вложенный рубль в процесс вывода из эксплуатации ЯРОО. Степень ЯРОО определяется принадлежностью ЯРОО к определенному классу ранжированных по ЯРО ЯРОО и величинами разрабатываемых критериев, влияющих на степень ЯРО ЯРОО.

При оценках стоимости работ, необходимых при подготовке к выводу или выводу из эксплуатации ЯРОО, неизбежны недооценки или переоценки величин стоимости работ. Причем величина отклонений оценок стоимости от реальных величин может достигать нескольких десятков, а иногда и сотен процентов. Два фактора могут влиять на такой значительный уровень неопределенности оценки стоимости работ.

1. Недооценка необходимого объема будущих производимых работ.
2. Недооценка будущей стоимости единицы производимых работ из-за непредвиденного изменения цен на ресурсы и производственные услуги, необходимые для реализации работ.

Таким образом итоговая величина критерия эффективности использования инвестируемых средств для вывода из эксплуатации ЯРОО с учетом неопределенности как в оценках стоимости необходимых работ, так и в степени ЯРО, имеет значительную степень неопределенности и является случайной величиной значительной волатильности.

Комплексный критерий инвестиционной эффективности предлагается подсчитывать по нижеследующей схеме.

ЯРО каждого ЯРОО складывается из двух компонент:

- активной компоненты – АРО, обусловленной радиационной активностью ЯРОО, и тем самым вредным радиационным воздействием ЯРОО на окружающую среду, включая персонал и другие категории населения;
- пассивной компоненты – ПЯРО, обусловленной возможностью различного рода аварий на ЯРОО с последующим вредным радиационным (и, возможно, другого характера) воздействием на окружающую среду. Активная компонента (АРО) ЯРО может быть подсчитана по нижеследующей схеме.

Пусть рассматриваемый ЯРОО состоит из совокупности  $N$  подобъектов (различных радиоактивных источников), пронумерованных индексом  $I = 1, \dots, N$ .

Для каждого ЯРОО подсчитывается суммарное числовое значение АРО по формуле:

$$AO_i = AO_{i1} + AO_{i2} + \dots + AO_{in}, \quad (1)$$

где

$AO_i$  – числовое значение АРО в денежных единицах последствий вредного влияния радиационного воздействия на окружающую природную среду, персонал и население в течение расчетного времени для  $i$ -го ЯРОО;

$AO_{ij}$  – числовое значение АРО  $j$ -го типа для  $i$ -го ЯРОО.

Вторая, пассивная, компонента (ПЯРО) ЯРО, может быть подсчитана с помощью формулы:

$$PO_i = PO_{i1} + PO_{i2} + \dots + PO_{ik}, \quad (2)$$

где

$PO_i$  – среднее ожидаемое числовое значение в денежных единицах ущерба (затраты на ликвидацию последствий аварии, включая нанесенный аварией непоправимый вред окружающей среде, персоналу и, возможно, другим категориям населения) от всей совокупности возможных аварий на  $i$ -м ЯРОО, нормированных с помощью вероятностей их наступления;

$PO_{ik}$  – среднее ожидаемое числовое значение в денежных единицах последствий от  $k$ -й аварии на  $i$ -м ЯРОО.

В свою очередь среднее ожидаемое числовое значение в денежных единицах ущерба от  $k$ -й аварии на  $i$ -м ЯРОО можно подсчитать по формуле:

$$PO_{ik} = PV_{ik} * p_{ik}, \quad (3)$$

где

$PV_{ik}$  – числовое значение в денежных единицах ущерба от  $k$ -й аварии на  $i$ -м ЯРОО;

$p_{ik}$  – вероятность наступления  $k$ -й аварии на  $i$ -м ЯРОО за расчетный период времени.

Суммарная величина ожидаемого ущерба от ЯРО рассматриваемого ЯРОО подсчитывается по формуле:

$$O_i = AO_i + PO_i. \quad (4)$$

Затем подсчитывается суммарное числовое значение затрат, необходимых для вывода из эксплуатации рассматриваемого ЯРОО по формуле:

$$F_i = F_{i1} + F_{i2} + \dots + F_{is}, \quad (5)$$

где

$F_i$  – числовое значение затрат в целом для  $i$ -го ЯРОО;

$F_{is}$  – числовое значение затрат на обеспечение ЯРБ для ЯРО  $s$ -го типа при выводе из эксплуатации  $i$ -го ЯРОО.

Нормированный комплексный критерий инвестиционной эффективности в целях снижения ЯРО для  $i$ -го ЯРОО подсчитывается по формуле:

$$R_i = \frac{O_i + Zi}{F_i}, \quad (6)$$

где

$O_i, F_i$  подсчитываются по формулам (4, 5) соответственно;

$Zi$  – затраты на обслуживание  $i$ -го ЯРОО в течение расчетного периода, если ЯРОО не будет выведен из эксплуатации.

После подсчета значений нормированных комплексных критериев инвестиционных эффективностей по формуле (6) для всей совокупности рассматриваемых ЯРОО производится ранжирование ЯРОО по убыванию критерия инвестиционной эффективности:

$$R_{(1)} \leq R_{(2)} \leq \dots \leq R_{(N)}. \quad (7)$$

ЯРОО с большим числовым значением критерия инвестиционной эффективности наиболее привлекательны для вывода из эксплуатации с экономической точки зрения, поскольку для них достигается большее снижение уровня ЯРО, приходящегося на 1 руб. средств, выделенных для вывода из эксплуатации ЯРОО.

Более того, формулы (1-7) дают возможность получить распределение вероятностей совокупности критериев эффективностей  $R = (R_1, \dots, R_N)$  как случайного вектора для группы из  $N$  рассматриваемых ЯРОО и, тем самым подсчитать характеристики неопределенности критериев инвестиционной эффективности для совокупности рассматриваемых ЯРОО.

Полученная с помощью метода Монте-Карло выборка значений вектора  $R$  критериев инвестиционной эффективности:

$$R_{i1}, \dots, R_{ip}, \quad (8)$$

дает возможность подсчитать числовые значения критериев неопределенности (волатильности –  $\sigma_i, i = 1, \dots, N$ ) и элементы ковариационной матрицы случайного вектора  $R$ , характеризующие попарную стохастическую зависимость критериев инвестиционной эффективности  $R_i$  для совокупности рассматриваемых ЯРОО.

Выборка (8) и, в частности, ковариационная матрица случайного вектора  $R$  используются при постановке и решении задач формирования пакетов выводимых из эксплуатации ЯРОО.

Каждый инвестиционный проект характеризуется несколькими качественными критериями, совокупный набор которых во многом определяет принятие решения об очередности инвестирования в реализацию проекта.

Для выводимых из эксплуатации ЯРОО такими частными качественными критериями являются:

- принадлежность к определенной категории ЯРОО по степени их ЯРО;
- социально-политическая оценка ЯРОО;
- наличие проектной документации (с учетом их степени полноты) на вывод из эксплуатации рассматриваемого ЯРОО и др.

Все учитываемые частные качественные критерии планируемого к выводу из эксплуатации ЯРОО могут быть агрегированы в один комплексный качественный критерий.

Числовое значение комплексного качественного критерия  $K_i$   $i$ -го ЯРОО подсчитывается по формуле:

$$K_i = \alpha_{i1} \cdot K_{i1} + \dots + \alpha_{ip} \cdot K_{ip}; \quad i = 1, \dots, N, \quad (9)$$

где

$K_i$  – числовое значение комплексного качественного критерия  $i$ -го ЯРОО;

$K_{ip}$  – значение  $p$ -го частного качественного критерия для  $i$ -го ЯРОО;

$\alpha_{ip}$  – весовой множитель, определяющий значимость  $p$ -го частного качественного критерия по отношению к другим частным качественным критериям;

$P$  – число учитываемых частных качественных критериев.

Числовые значения  $\alpha_{ip}; i = 1, \dots, N; p = 1, \dots, P$  можно получить с помощью схемы парных экспертных сравнений относительных значений  $K_{ip}$  для оценок и принятия решений в условиях неопределенности и необходимости объединения критериев и основанной на теории The Analytic Network Process [6].

Оценка ЯРО ЯРОО, подлежащих выводу из эксплуатации, на уровне оценок качественных критериев принадлежит к классу задач, решаемых с помощью схем теории The Analytic Network Process [6].

Более того, обобщенная схема парных экспертных сравнений позволяет оценивать значения  $\alpha_{ip}$ ;  $p = 1, \dots, P$  при неполном наборе сравниваемых пар.

Матрицы  $M_i$  парных сравнений строятся отдельно для каждого  $i$ -го ЯРОО.

Предложенная схема оценок эффективности финансового обеспечения ЯРБ отдельных ЯРОО и групп позволяет рассчитывать обоснованные затраты на обеспечение ЯРБ, оптимизируя распределения ограниченных средств для достижения наибольшего уровня ЯРБ при условии обеспечения минимального уровня риска неэффективного использования ресурсов, выделяемых на обеспечение ЯРБ.

### Литература

1. О финансировании особо радиационно-опасных и ядерно-опасных производств и объектов [Электронный ресурс] : федер. закон от 3 апр. 1996 г. №29-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
2. Об использовании атомной энергии [Электронный ресурс] : федер. закон от 21 нояб. 1995 г. №170-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
3. Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 г. и на период до 2015 г. [Электронный ресурс] : федеральная целевая программа. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
4. Емец П.Е. и др. Математические модели расчета инвестиционной эффективности вывода из эксплуатации ЯРОО [Текст] : препринт 002-2007 / П.Е. Емец, О.М. Ковалевич, А.В. Крынев, Р.Б. Шарифутдинов. – М. : МИФИ, 2007.
5. Емец П.Е. Математическое моделирование задач оптимального распределения ресурсов для обеспечения ядерной и радиационной безопасности выводимых из эксплуатации ядерно- и радиационно опасных объектов [Текст] / П.Е. Емец, А.В. Крынев // Научная сессия МИФИ-2007 : сб. науч. трудов. – М., 2007.
6. Saaty T.L. Decision making with dependence and feedback. The Analytic Network Process. The organization and prioritization of complexity. University of Pittsburgh, 1997.

### Ключевые слова

Ядерная и радиационная безопасность; ядерно- и радиационно-опасный объект; вывод из эксплуатации, категорирование; комплексный критерий инвестиционной эффективности; комплексный качественный критерий; четырехкритериальная модель оптимального распределения ресурсов.

*Емец Павел Евгеньевич*

*Крынев Александр Витальевич*

### РЕЦЕНЗИЯ

Актуальность проблемы. Предусмотренное «Энергетической стратегией России на период до 2020 года» развитие атомной энергетики обуславливает необходимость комплексного обеспечения ядерной, радиационной и экологической безопасности. Одним из важнейших направлений деятельности в этой области является вывод из эксплуатации объектов использования атомной энергии. В условиях ограниченных финансовых ресурсов актуальной является разработка системы показателей экономической эффективности вывода из эксплуатации ядерно- и радиационно-опасных объектов (ЯРОО), обеспечивающих, в то же время приемлемый уровень их ядерной и радиационной безопасности.

Научная новизна и практическая значимость. Предлагаемая в рецензируемой статье схема системных оценок оптимального объема финансирования, направляемого на обеспечение ядерной и радиационной безопасности выводимых их эксплуатации ЯРОО, позволяет на основе научно обоснованных принципов и численных критериев срав-

нивать всевозможные варианты включения различных ЯРОО в формируемый инвестиционный портфель и обоснованно выбирать (в том числе с учетом факторов качественного характера, влияющих на состав портфеля) оптимальный инвестиционный портфель выводимых из эксплуатации ЯРОО, имеющий максимальную реализуемую эффективность отдачи всей совокупности инвестируемых средств при приемлемом уровне риска их неэффективного использования.

Заключение: рецензируемая статья отвечает требованиям, предъявляемым к научным публикациям, и может быть рекомендована к опубликованию.

*Киреев С.В., д.ф.м.н., профессор Национального исследовательского ядерного университета «Московский инженерно-физический институт»*

## 3.3. ALGORITHM OF OPTIMIZED FINANCING SYSTEM ESTIMATION FOR PROVISION OF THE NUCLEAR AND RADIATION SAFETY OF THE NUCLEAR AND RADIATION DANGEROUS SITES WHILE ITS DECOMMISSIONING

P.E. Yemets, Post-graduate Student;  
A.V. Kryanev, Dr. Sci., Professor

Moscow Engineering Physics Institute

The article describes the algorithm of optimized financing's system valuation to provide the nuclear and radiation safety of the nuclear and radiation dangerous sites while being decommissioned. These system valuations are calculated on basis of quantitative and qualitative criteria that allow forming decisions on decommissioning order and optimal financing distribution of the nuclear and radiation dangerous sites.

### Literature

1. Federal task program «Provision of the nuclear and radiation security in 2008 and in the frame to 2015».
2. The federal law from 21.11.1995 №170-FZ «About the atomic energy usage» (articles №4, 8, 9, 11, 33, 34, 35, 37).
3. The federal law from 03.04.1996 №29-FZ «About financing of specially dangerous radiation dangerous and nuclear dangerous manufacturing and sites».
4. P. Yemets, O. Kovalevich, A. Kryanev, R. Sharafutdinov. Mathematical models of investment efficiency calculation of the nuclear and radiation dangerous sites being decommissioned. M.: Preprint MEPhI 002-2007.
5. P.Yemets, A. Kryanev. Mathematical modeling of optimal resources distribution to provide the nuclear and radiation safety of the nuclear and radiation dangerous sites while being decommissioned. The compilation work «Scientific session of MEPhI, 2007».
6. T.L. Saaty. Decision making with dependence and feedback. The Analytic Network Process. The organization and prioritization of complexity. University of Pittsburgh, 1997.

### Keywords

Nuclear and radiation safety; nuclear and radiation dangerous site; decommissioning; categorizing complex criterion of investment efficiency; complex qualitative criterion; 4-criteria model of optimal resource distribution.