

## 10.5. ПОДХОДЫ К КАТЕГОРИРОВАНИЮ ЯДЕРНО- И РАДИАЦИОННО-ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ И ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОГО ФИНАНСИРОВАНИЯ ИХ ВЫВОДА ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ

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 данной статье описываются подходы к категорированию ядерно- и радиационно-опасных объектов, а также представлено краткое описание методики обеспечения эффективного финансирования их вывода из эксплуатации. Методика предполагает формирование оптимальных портфелей финансирования объектов, обеспечивающих наибольшее снижение ядерной и радиационной опасности объекта при минимальном задаваемом уровне риска неэффективного использования инвестируемых сумм.

### 1. ПОКАЗАТЕЛИ СОСТОЯНИЯ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЯДЕРНО- И РАДИАЦИОННО- ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ (ЯРОО)

Основные показатели состояния радиационной безопасности на различных радиационно-опасных объектах уже определены в действующем законодательстве Российской Федерации и федеральных нормах и правилах в области обеспечения радиационной безопасности. Согласно Федеральному закону от 9 января 2006 г. №3-ФЗ «О радиационной безопасности населения» такими показателями являются следующие.

1. Значения характеристик радиоактивного загрязнения окружающей среды.
2. Результаты анализа проводимых мероприятий по обеспечению радиационной безопасности и соблюдению норм, правил и гигиенических нормативов в области радиационной безопасности.
3. Вероятность возникновения радиационных аварий и их масштаб.
4. Степень готовности к эффективной ликвидации радиационных аварий и их последствий.
5. Значения доз облучения, получаемых персоналом и населением от всех основных источников ионизирующего излучения.
6. Число лиц, подвергающихся облучению выше установленных пределов доз.

Данные показатели имеют различный смысл и структуру. Показатели 1, 5 и 6 непосредственно относятся к воздействию излучения на человека и окружающую среду и большей частью поддаются непосредственным измерениям. Использование этих показателей для анализа состояния радиационной безопасности не представляет трудностей, поскольку существуют установленные нормативными документами критерии радиационной безопасности, непосредственно основанные на значениях этих показателей.

Принципиально иная ситуация с показателями безопасности 2-4, поскольку они относятся к безопасности человека не прямо, а косвенно (через безопасность

объекта) и взаимосвязь их с любыми непосредственно измеряемыми величинами в принципе не может быть выражена простыми и очевидными соотношениями.

В этой связи в настоящей статье предлагается рассмотреть подходы к определению системы показателей радиационной безопасности ЯРОО применительно к показателям безопасности, аналогичным перечисленным в пп. 2-4.

## 2. ОСНОВЫ КЛАССИФИКАЦИИ ЯРОО

### 2.1. Основные характеристики ЯРОО, принятые за основу при классификации

Опасность ЯРОО определяется целым рядом характеристик, находящихся в достаточно сложной, часто не описываемой простыми закономерностями взаимосвязи, например:

- средними по операционному периоду ядерно- и радиационно-опасного объекта количествами радиоактивных веществ, вовлеченных в технологические процессы;
- величинами удельных активностей радиоактивных веществ (РВ), радиоактивных отходов (РАО) и источников ионизирующего излучения (ИИИ), вовлеченных в технологические процессы;
- наличием дополнительных факторов не радиационного свойства (высокого давления, образование взрывоопасных и/или пирофорных соединений, коррозионно-активных веществ и т.д.) и др.

Указанные характеристики должны найти свое отражение при определении системы показателей текущего состояния ядерной и радиационной безопасности (ЯРБ) этих объектов, однако классификация самих объектов не должна основываться на существенно различных по сравнению с определенными действующим законодательством классификационных признаках.

Действующее законодательство РФ и нормативные документы в области использования атомной энергии определяют следующие виды объектов предприятий ядерного топливного цикла (ПЯТЦ) [1, 2].

1. Ядерные установки.
2. Радиационные источники.
3. Пункты хранения ядерных материалов, радиоактивных веществ или радиоактивных отходов.

Каждый из видов ЯРОО может разделяться на отдельные группы, которые, в свою очередь, могут разбиваться на подгруппы, принципиально или существенно различающиеся по уровню и характеру требований к обеспечению ядерной и радиационной безопасности.

Установленная существующими и разрабатываемыми нормативными документами классификация ЯРОО по уровню их потенциальной опасности разделяет все ЯРОО на несколько категорий [3], определяемых в соответствии с уровнем возможного радиационного воздействия объекта на персонал и население при нормальной работе и при радиационной аварии.

Всего устанавливается четыре категории объектов по уровню их потенциальной опасности:

- К 1-й категории относятся радиационные объекты, при нормальной эксплуатации которых в радиусе нескольких километров или десятков километров вокруг возможно дополнительное облучение населения в сотни мкЗв в год, а при крупной аварии на объекте возможно загрязнение окружающей среды и / или облучение населения в дозах, превышающих уровни вмешательства и требующих осуществления мероприятий по его защите.
- К 2-й категории радиационной опасности относятся объекты, вокруг которых при нормальной эксплуатации возможно

повышение облучения населения на десятки мкЗв в год, а при аварии величина радиационного воздействия на население не превысит 1 мЗв в год (т.е. воздействие при аварии ограничивается территорией санитарно-защитной зоны).

- К 3-й категории относятся объекты, не оказывающие радиационного воздействия на население, находящееся на территории санитарно-защитной зоны объекта, не только в нормальных, но и в аварийных условиях. В последнем случае радиационное воздействие при аварии не распространяется дальше границ (территории) объекта.
- К 4-й категории относятся объекты, радиационное воздействие от которых не распространяется при любых обстоятельствах дальше помещений, где осуществляется непосредственная работа с источниками ионизирующего излучения.

Потенциально более опасными признаются объекты 1-й категории опасности, наименее опасными – объекты 4-й категории.

### 3. СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКАМ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЯРБ ЯРОО

#### 3.1. Уровень обеспечения ЯРБ ЯРОО и определяющие его критерии

В работе [9] было отмечено, что экономически эффективное финансовое обеспечение ЯРБ требует разработки научно обоснованных принципов и численных критериев ЯРБ для различных типов выводимых из эксплуатации ЯРОО и расчета затрат для достижения необходимых величин критериев ЯРБ.

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

Полученные численные значения оценок критериев ЯРБ и затрат на обеспечение ЯРБ будут иметь различные уровни неопределенности в зависимости от рассматриваемого ЯРОО. Для обоснованного расчета эффективного финансового обеспечения ЯРБ необходимо учитывать фактор неопределенности и его системный характер.

В качестве критерия эффективности использования ресурсов с точки зрения обеспечения ЯРБ при обеспечении вывода из эксплуатации ЯРОО в работе [9] предлагается брать нормированный комплексный критерий, учитывающий снижение уровня ЯРО исследуемого ЯРОО на каждый освоенный рубль, выделенный на вывод из эксплуатации ЯРОО.

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

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

ЯРОО с большим числовым значением критерия инвестиционной эффективности наиболее привлекательны для вывода из эксплуатации с финансовой точки зрения [9].

Полученная с помощью схемы Монте-Карло выборка значений вектора  $R$  критериев инвестиционной эффективности  $R_{1i}, \dots, R_{ip}$  используется при постановке и решении задач формирования оптимальных портфелей выводимых из эксплуатации ЯРОО [9].

Кроме того, каждый инвестиционный проект по выводу из эксплуатации ЯРОО характеризуется несколькими качественными критериями (например, принадлежность к определенной категории ЯРОО по степени их ЯРО; социально-политическая оценка ЯРОО; наличие концепции по выводу их эксплуатации и др.), совокупный набор которых во многом определяет принятие решения об очередности инвестирования в реализацию проекта.

При формировании первоначального списка ЯРОО, подлежащих ближайшему финансированию для вывода из эксплуатации, следует учитывать очередность работ по выводу из эксплуатации ЯРОО.

Существуют следующие приоритеты очередности работ по выводу из эксплуатации ЯРОО (приведенные ниже приоритеты работ 1-4 взяты из [4]).

1. Приоритет безопасности над вопросами получения прибыли.
2. Приоритет работ, обеспечивающих максимальное снижение экологического риска при равных материальных и временных затратах.
3. Приоритет вывода из эксплуатации объектов с более высокой категорией опасности.
4. Приоритет работ, которые наиболее близки к завершению и обеспечивают прямые и немедленные гарантии безопасности человека и окружающей среды.

Все учитываемые частные качественные критерии планируемого к выводу из эксплуатации ЯРОО могут быть агрегированы в один комплексный качественный критерий [9]. 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 [11].

Предлагаемая схема оценок эффективного финансового обеспечения ЯРБ отдельных ЯРОО и групп ЯРОО 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.

#### 3.2. Методика формирования инвестиционных портфелей ЯРОО

Для расчета итоговых системных числовых оценок финансового обеспечения ЯРБ выводимых из эксплуатации совокупности ЯРОО предлагается использовать схемы оптимального распределения ресурсов в условиях неопределенности, использующих международный стандарт оценок экономических рисков с помощью **VaR** (value at risk) подхода [5, 6-8, 10].

Формирование оптимальных инвестиционных портфелей должно производиться из тех ЯРОО, при которых для портфеля обеспечивается минимум пакетного риска неэффективного использования отпущенных средств (в совокупности) ниже приемлемого уровня ожидаемой эффективности в рамках тех ограничений, которые обусловлены учетом качественных критериев ЯРОО.

Оптимизационная задача по формированию оптимального инвестиционного пакета выводимых из эксплуатации ЯРОО – многокритериальная задача, в которой присутствуют четыре критерия, из которых три подлежат максимизации, а один минимизации [9]. Решая указанную многокритериальную задачу, получаем максимальное значение системного комплексного критерия при приемлемом значении риска  $P_{risk}$  – вероят-

ности того, что эффективность затрат на обеспечение ЯРБ выводимой из эксплуатации рассматриваемой группы ЯРОО окажется меньше наперед заданного приемлемого уровня.

**Литература**

1. Об использовании атомной энергии [Электронный ресурс] : федер. закон от 21 нояб. 1995 г. №170-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
2. Общие положения обеспечения безопасности объектов ядерного топливного цикла (ОПБ ОЯТЦ) [Текст]: НП-016-2000 / Федеральный надзор России по ядерной и радиационной безопасности. – М., 2000.
3. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности [Текст] : ОСПОРБ-99 / М-во здравоохранения и социального развития РФ. – М., 2000.
4. Концепция вывода из эксплуатации ядерных установок, радиационных источников и пунктов хранения [Текст] / Гос. корпорация по атомной энергии «Росатом». – М., 2008.
5. Емец П.Е. Схемы оценок эффективного финансового и материального 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. Крынев А.В. Математические методы обработки неопределенных данных [Текст] / А.В. Крынев, Г.В. Лукин. – 2-е изд. – М. : Наука, 2003.
7. Крынев А.В. Основы финансового анализа и портфельного инвестирования в рыночной экономике [Текст] / А.В. Крынев. – М. : МИФИ, 2001.
8. Лукин Г.В. Математическое моделирование задач распределения ресурсов на основе минимизации риска [Текст] : автореф. дисс. – М. : МИФИ, 2005.
9. Математические модели расчета инвестиционной эффективности вывода из эксплуатации ЯРОО [Текст] : препринт / Емец П.Е., Ковалевич О.М., Крынев А.В., Шарифутдинов Р.Б. ; МИФИ 002-2007. – М., 2007.
10. Системный подход при финансировании мероприятий по выводу из эксплуатации ЯРОО, классифицируемых в зависимости от категории их ЯРОО [Текст] / Емец П.Е., Ковалевич О.М., Крынев А.В., Неретин В.А., Шарифутдинов Р.Б.. М.: Препринт МИФИ 003-2007.
11. Saaty T.L. Decision making with dependence and feedback. The Analytic Network Process. The organization and prioritization of complexity. University of Pittsburgh, 1997.

*Емец Павел Евгеньевич*

*Крынев Александр Витальевич*

**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.

**РЕЦЕНЗИЯ**

Актуальность проблемы: опасность ядерно- и радиационно-опасных объектов (ЯРОО) определяется целым рядом количественных и качественных характеристик, находящихся в достаточно сложной взаимосвязи, часто не описываемой простыми закономерностями.

В этой связи весьма актуальной является разработка системы показателей безопасности ЯРОО, позволяющей просто и понятно оценивать изменение уровня безопасности ЯРОО в зависимости от изменения основных параметров, обуславливающих его опасность.

Научная новизна и практическая значимость: определенные в действующем законодательстве Российской Федерации и федеральных нормах и правилах в области обеспечения радиационной безопасности основные показатели состояния радиационной безопасности на

различных радиационно-опасных объектах и на отдельных территориях страны не позволяют определить простые критерии, позволяющие судить о безопасности радиационно-опасного объекта непосредственно по значениям этих показателей.

В этой связи предлагаемые в рецензируемой статье подходы к определению системы показателей безопасности ЯРОО, основанные на их категорировании, могут быть использованы при совершенствовании системы обеспечения безопасности ЯРОО.

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

*Киреев С.В., д.ф.-м.н., профессор, Национальный исследовательский ядерный университет «Московский инженерно-физический институт»*

**10.5. APPROACHES TO CATEGORIZING OF NUCLEAR AND RADIATION-DANGEROUS SITES AND PROVISION OF ITS EFFICIENT FINANCING WHILE DECOMMISSIONING**

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

*Moscow Engineering Physics Institute*

The article describes approaches to categorizing of nuclear and radiation dangerous sites and gives the brief description of the method to provide the efficient financing of their decommissioning. The method supposes generation of optimal financial portfolios to provide the maximum decrease of issuing object's nuclear and radiation danger under minimal defined risk level of inefficient use of the invested financing.

**Literature**

1. The federal law from 21.11.1995 №170-FZ «About the atomic energy usage».
2. «General states of the nuclear fuel cycle objects' security provision», NP-016-2000, Federal agency on ecological, technological and atomic supervision of the Russian Federation, 2000.
3. «General sanitary code on provision of radiation safety (OSPORB-99)», Ministry of public health of the Russian Federation, 2000.
4. State Corporation on atomic energy «Rosatom». The concept of decommissioning of nuclear facilities, radiation sources and depositories, 2008.
5. 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.
6. Saaty T.L. Decision making with dependence and feedback. The Analytic Network Process. The organization and prioritization of complexity. University of Pittsburgh, 1997.
7. A. Kryanev. The basics of financial analysis and portfolio investment in market economy. M.: MEPHI, 2001.
8. A. Kryanev, G. Lukin. Mathematical methods of indeterminate data processing. M.: Nauka, 2003 (2<sup>nd</sup> Edition, 2006).
9. G. Lukin Mathematical modeling of resources distribution problem on the basis of risk minimization. Abstract of a thesis. M.: MEPHI, 2005.
10. P. Yemets. A. Kryanev. The algorithm of financial and material security's efficiency estimation of nuclear and radiation safety of the nuclear and radiation dangerous sites under decommissioning. Collected papers of «Scientific session of MEPHI, 2007».
11. P. Yemets, O. Kovalevich, A. Kryanev, V. Neretin, R. Sharafutdinov. System approach to financing of nuclear and radiation dan-

gerous sites decommissioning classified against the category of its nuclear and radiation danger. M.: Preprint МЕРНИ 003-2007.

**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.