

На правах рукописи

Емец Павел Евгеньевич

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ОСВОЕНИЯ
ИНВЕСТИЦИЙ ДЛЯ ВЫВОДА ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЯДЕРНО И
РАДИАЦИОННО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ**

08.00.13 – Математические и инструментальные методы экономики

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата экономических наук

Автор: _____

Москва, 2011

Диссертация выполнена в Национальном исследовательском ядерном университете «МИФИ».

Научный руководитель: доктор физико-математических наук,
профессор
Крянев Александр Витальевич

Официальные оппоненты: доктор экономических наук, профессор
Щесняк Евгений Леонидович

доктор физико-математических наук,
профессор
Щетинин Евгений Юрьевич

Ведущая организация: ОАО «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара» (ОАО «ВНИИНМ»)

Защита состоится *«15» декабря 2011 года в 15.00 часов* на заседании диссертационного совета Д212.130.12 – при НИЯУ «МИФИ» по адресу: 115409, Москва, Каширское шоссе, д.31.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке НИЯУ «МИФИ».

Автореферат разослан *«12» ноября 2011 года*

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор технических наук, профессор

/А.В. Путилов/



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. В результате развития атомной промышленности и энергетики, выполнения оборонных программ, в Российской Федерации существует значительное количество ядерно и радиационно опасных объектов (далее – ЯРОО), которые, в соответствии с их жизненным циклом, рано или поздно подлежат выводу из эксплуатации. Все ЯРОО, подлежащие на сегодняшний день выводу из эксплуатации, создавались в период государственного хозяйствования и плановой централизованной экономики. При этом должного внимания вопросам финансового обеспечения работ по выводу ЯРОО из эксплуатации не уделялось. Предполагалось, что эти вопросы в условиях централизованного планирования и ресурсного обеспечения могут быть решены позже. С конца 1980-х и до 2008 года вопросы финансового обеспечения работ по выводу ЯРОО из эксплуатации по известным причинам решались в недостаточном объеме.

Нехватка средств не позволяла до последнего времени полномасштабно и планомерно приступить к выводу из эксплуатации уже остановленных ранее ЯРОО. Наличие таких объектов, по которым не ведутся работы по выводу из эксплуатации, существенно повышает риск возникновения радиационных аварий, создает реальную угрозу радиоактивного загрязнения окружающей среды, облучения населения и персонала, приводит к нерациональному использованию выделяемых средств.

В настоящее время остановлена эксплуатация нескольких сотен ЯРОО, которые сегодня находятся в различных стадиях вывода из эксплуатации на предприятиях Госкорпорации «Росатом». В России, как и в других странах, активно использующих ядерные технологии, наступает период массового вывода из эксплуатации ЯРОО. Этот процесс со временем будет активизироваться, учитывая планы и программы по развитию атомной отрасли России, сопровождаясь генерацией новых проблем, в первую очередь, в области обращения с радиоактивными отходами (РАО) и облученным ядерным топливом (ОЯТ) [18-21,23, 26, 27].

Предусмотренное «Энергетической стратегией России на период до 2020 года» развитие атомной энергетики предопределяет необходимость комплексного обеспечения ядерной, радиационной и экологической безопасности. Одним из важнейших направлений деятельности в этой области является вывод из эксплуатации ядерных установок, радиационных источников и пунктов хранения, а также рекультивация радиационно-загрязненных участков территорий. При определении стратегии вывода ЯРОО из эксплуатации важнейшим вопросом является стоимость соответствующих работ и ее минимизация не в ущерб объему и качеству самих необходимых работ [23].

Затраты на вывод из эксплуатации ЯРОО могут существенно варьироваться в зависимости от ряда факторов: характеристик и сложности объекта, избранной стратегии вывода из эксплуатации, промышленных рамок осуществления деятельности (уровень развития отрасли, наличие квалифицированных подрядчиков и др.), общих промышленных (стоимость рабочей силы, наличие подходящих технологий на отечественном рынке в сравнении с зарубежными технологиями), нормативно-правовых и технических условий (хорошо разработанные регулирующие рамки, наличие соответствующей инфраструктуры, регулирующего надзора и контроля, прошлый опыт, накопленный в области вывода из эксплуатации), вида и количества накопленных радиоактивных материалов и др.

Согласно оценкам Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) полная стоимость вывода из эксплуатации российских объектов использования атомной энергии (ОИАЭ) составляет, по меньшей мере, 200 млрд. долларов. При этом реальные затраты могут в несколько раз превышать эту оценку в зависимости от выбора стратегии вывода из эксплуатации и реализации реабилитационных работ. Ясно, что подобные суммы не могут быть выделены единовременно. Это означает, что средства будут выделяться планомерно, их явно не будет хватать на решение всего комплекса задач по выводу из эксплуатации всей совокупности ЯРОО. При этом необходимо четко понимать, что основной проблемой, которую придется решать, будет обеспечение социально приемлемой, экологически безопасной и экономически оптимальной деятельности по выводу из эксплуатации ядерных установок, радиационных источников и пунктов хранения, а также рекультивации радиационно-загрязненных территорий с максимальным учетом всех нормативных требований, наличия технологий и оборудования, а также финансовых возможностей.

Решение данной проблемы, в том числе, определяет необходимость разработки научно обоснованных принципов и численных критериев, оценивающих эффективность распределения и освоения инвестиций, направляемых на финансирование вывода из эксплуатации ЯРОО. В данной работе термин «инвестиция» понимается в общепринятом смысле слова. В то же время надо отчетливо понимать, что при выводе из эксплуатации ЯРОО возможно как создание нового объекта, так и полная ликвидация существующего, вплоть до так называемой «зеленой лужайки».

Таким образом, **объектом исследований** диссертации являются выводимые из эксплуатации ЯРОО атомной отрасли, а **предметом исследований** выступают экономические процессы, связанные с выводом из эксплуатации ЯРОО.

Целью диссертационной работы является создание математических моделей для оценки эффективности распределения и использования финансирования, направляемого на вывод из эксплуатации ЯРОО. Для

реализации указанной цели в рамках диссертационной работы решаются следующие основные задачи:

1. Определяются показатели экономической эффективности для выводимых из эксплуатации ЯРОО.
2. Производится расчет показателей экономической эффективности для выводимых из эксплуатации ЯРОО различных типов.
3. Производится расчет комплексных критериев для выводимых из эксплуатации ЯРОО различных типов.
4. Разрабатывается схема отбора и формирования эффективного пакета (портфеля) выводимых из эксплуатации ЯРОО на заданную инвестиционную сумму, основанная на решениях Парето.
5. Разрабатывается схема адаптационной динамической коррекции весов показателей для выводимых из эксплуатации ЯРОО.

Методы исследований

Методы оптимизации позволяют ставить и решать задачи оптимального распределения инвестиционных ресурсов, выделяемых для вывода из эксплуатации ЯРОО.

Методы анализа иерархических процессов дают возможность получить обоснованную итоговую оценку объекта (процесса) при наличии нескольких оценок (критериев) объекта.

С помощью методов Монте-Карло разыгрываются варианты неопределенных ситуаций, что дает возможность оценивать доверительные интервалы рассматриваемых характеристик и оценивать риски различного содержания.

Научная новизна

1. Предложены критерии эффективности инвестиций, направляемых на вывод из эксплуатации ЯРОО, и дано обоснование их введения и использования.
2. Предложен и обоснован новый перечень критериев принятия решений при определении очередности и объемов финансирования работ по выводу ЯРОО из эксплуатации.
3. Разработана схема отбора и формирования эффективного пакета выводимых из эксплуатации ЯРОО на заданную инвестиционную сумму;
4. Разработана схема динамической адаптационной переоценки значимости выводимых из эксплуатации объектов.

Практическая значимость результатов

Предложенные в диссертационной работе схемы и алгоритмы численного решения задач оптимального распределения и освоения ресурсов в условиях неопределенности могут быть применены для решения

актуальных задач по выводу из эксплуатации ЯРОО атомной энергетики Российской Федерации.

Разработанные в рамках диссертационной работы математические модели были применены для оценки эффективности распределения и освоения ресурсов, выделяемых для вывода из эксплуатации конкретных ЯРОО различного типа. Полученные в диссертации результаты согласуются с вновь принятыми Госкорпорацией «Росатом» концепциями вывода из эксплуатации промышленных уран-графитовых реакторов и блоков АЭС.

Обоснованность и достоверность полученных результатов

Обоснованность полученных результатов следует из того, что при аналитических и численных исследованиях в диссертации использовались строгие и обоснованные методы оптимизации, методы анализа иерархических процессов, методы Монте-Карло. В то же время в диссертации проведены сравнения численных результатов с результатами, полученными с помощью апробированных классических схем и сравнением с реальными экспериментальными данными.

Апробация результатов

Полученные в рамках диссертационной работы результаты докладывались и обсуждались на Всероссийской конференции «Фундаментальные физико-математические проблемы и моделирование технико-технологических систем» (2008, 2009 гг.); Всероссийской конференции по проблемам математики, информатики, физики и химии (2009, 2010, 2011 гг.); Научных сессиях МИФИ (2007, 2008, 2009, 2010, 2011 гг.); на научно-технических семинарах различного уровня и рабочих и отраслевых совещаниях в Федеральном агентстве по атомной энергии и Госкорпорации «Росатом».

Личный вклад соискателя

Все результаты диссертации, выносимые на защиту, получены автором. В работах, отражающих содержание диссертации и выполненных в соавторстве, автору принадлежит равный вклад в разработку математических моделей, алгоритмов численных решений рассматриваемых задач и их программную реализацию.

Публикации. По теме диссертации представлено 16 публикаций, включая 5 статей в журналах, из них 4 - в журналах, включенных в перечень рецензируемых ВАК Российской Федерации изданий.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и приложения.

Список литературы содержит 104 наименования. Общий объем диссертации 113 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении рассматривается проблема вывода из эксплуатации ЯРОО, проводится анализ литературы по оценке стоимости работ по выводу из эксплуатации ЯРОО, а также обосновывается необходимость осуществления оптимизации инвестиционных расходов, направленных на вывод из эксплуатации ЯРОО.

В первой главе диссертации представлено описание подхода к классификации (категорированию) ЯРОО в зависимости от степени их ядерной и радиационной опасности (ЯРО) [2, 7, 8, 22] применительно к решению задач диссертационной работы.

Для целей оценки потенциальной ядерной и радиационной опасности ЯРОО, использующих в своей производственной деятельности как ядерно-опасные делящиеся материалы (ЯДМ), так и радиоактивные вещества (РВ), радиоактивные отходы и источники ионизирующего излучения (ИИИ) различного типа предлагается использовать подход, учитывающий состояние технических барьеров безопасности и комплекс организационных и технических мер по обеспечению их функционирования.

Определение системы показателей безопасности ЯРОО базируется на основе анализа существующих нормативных документов, в т.ч. СанПиНов и ГОСТов [21]. Анализ проводится с точки зрения совершенствования требований к барьерам безопасности, состояния ЯРБ на ЯРОО [18-21,23, 26,27].

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

- средними по операционному периоду ЯРОО количествами радиоактивных веществ (с учетом их радиотоксичности), вовлеченных в технологические процессы;
- величинами удельных активностей радиоактивных веществ, радиоактивных отходов (РАО) и источников ионизирующего излучения, вовлеченных в технологические процессы;
- наличием и количествами ЯДМ (с учетом их радиотоксичности);
- наличием вовлеченных в технологические операции жидких и/или газообразных ЯДМ, РВ и РАО;

- наличием дополнительных факторов нерадиационного свойства (высокого давления, образования взрывоопасных и/или пирофорных соединений, коррозионно-активных веществ и т.д.);
- видом основных операций с ЯДМ, РВ и РАО на ЯРОО и так далее.

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

Классификация ЯРОО основывается в целом по их видам и по уровню их потенциальной опасности.

Действующее законодательство Российской Федерации и нормативные документы в области использования атомной энергии определяют следующие виды объектов предприятий ядерного топливного цикла (ПЯТЦ) [17]: ядерные установки, радиационные источники, пункты хранения ядерных материалов, РВ 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.

Сравнение потенциальной опасности объектов проводится на основе следующих параметров: число объектов в России; количество радионуклидов, находящихся на объекте; возможность развития самоподдерживающейся цепной реакции деления; наличие опасных технологических процессов; уязвимость к внешним воздействиям; уязвимость к ошибкам персонала; возможная площадь загрязнения при авариях.

Потенциально более опасными признаются объекты, в результате деятельности которых возможно облучение не только работников объекта, но и населения, как при аварии, так и при нормальных условиях его эксплуатации. Наименее опасными радиационными объектами являются те, где исключена возможность облучения лиц, не относящихся к персоналу.

Проведенный в работе анализ показывает, что наибольшую потенциальную опасность представляют такие объекты как ПЯТЦ, радиохимические заводы по переработке ОЯТ, открытые водоемы-хранилища среднеактивных ЖРО, полигоны подземного захоронения средне и высокоактивных ЖРО, хранилища ОЯТ и остеклованных ВАО. Для дальнейшего уточнения степени потенциальной опасности указанных выше объектов, а также оценки степени потенциальной опасности других объектов необходимо получение дополнительной информации по характерным особенностям используемых на них технологических процессах, их конструктивным особенностям и характеристикам вовлеченных ЯМ, РАО и РВ.

Во второй главе диссертации предложены и обоснованы критерии оценки экономической эффективности ВЭ ЯРОО [1, 4-6, 9].

Одной из основных задач при финансировании подготовки к выводу и выводу из эксплуатации ЯРОО является эффективное использование выделяемых инвестиционных средств.

В качестве критерия инвестиционной эффективности с точки зрения обеспечения ЯРБ при выводе из эксплуатации ЯРОО можно брать нормированный комплексный критерий, учитывающий повышение уровня ЯРБ рассматриваемого ЯРОО на каждый освоенный рубль, выделенный на вывод из эксплуатации ЯРОО.

Комплексный критерий инвестиционной эффективности предлагается подсчитывать по нижеследующей схеме.

ЯРО каждого ЯРОО складывается из двух компонент: активной компоненты – АК, обусловленной радиационной активностью (и другой опасностью, например, химической) ЯРОО и, тем самым, вредным радиационным воздействием ЯРОО на окружающую среду, включая персонал и другие категории населения; пассивной компоненты – ПК, обусловленной возможностью различного рода аварий на ЯРОО с последующим вредным радиационным (и, возможно, другого характера) воздействием на окружающую среду.

На первом шаге производится расчет активной и пассивной компонент для i -ого ЯРОО.

АК i -ого ЯРОО - AK_i - рассчитывается как сумма всех активных компонент n подобъектов ЯРОО (различных радиационных источников, присутствующих на ЯРОО и определяющих в конечном итоге общий уровень его ЯРО), представленных как 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.

ПК i -ого ЯРОО - PK_i - рассчитывается как сумма всех пассивных компонент n подобъектов ЯРОО, представленных как среднеожидаемое 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 -ом ЯРОО, рассчитанных с учетом вероятностей их наступления.

Суммарная величина ожидаемого ущерба от ЯРО рассматриваемого i -ого ЯРОО - O_i - рассчитывается по формуле:

$$O_i = AK_i + PK_i . \quad (1)$$

На втором шаге производится расчет суммарного числового значения финансовых затрат, необходимых для вывода из эксплуатации рассматриваемого ЯРОО по формуле:

$$F_i = F_{i1} + F_{i2} + \dots + F_{is}, \quad (2)$$

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

F_{is} – числовое значение финансовых затрат обеспечения 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:

$$R_i = \frac{O_i + Z_i}{F_i}, \quad (3)$$

где Z_i – затраты на обслуживание i -ого ЯРОО в течение расчетного периода, если ЯРОО не выводится из эксплуатации.

После расчета значений нормированных комплексных критериев инвестиционных эффективностей по формуле (3) для всей совокупности рассматриваемых ЯРОО, производится ранжирование ЯРОО по убыванию критерия инвестиционной эффективности:

$$R_{(1)} \leq R_{(2)} \leq \dots \leq R_{(N)}. \quad (4)$$

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 рубль инвестиционных средств, выделенных для вывода из эксплуатации ЯРОО.

Более того, формулы (1) – (3) дают возможность, используя схему розыгрышей Монте-Карло, получить распределение вероятностей совокупности критериев эффективностей $R = (R_1, \dots, R_N)$ для группы из N рассматриваемых ЯРОО и, тем самым, подсчитать характеристики неопределенности критериев инвестиционной эффективности для совокупности рассматриваемых ЯРОО [24].

Каждый инвестиционный проект (инвестиции на вывод из эксплуатации ЯРОО не являются исключением) характеризуется несколькими качественными критериями, совокупный набор которых и определяет принятие решения об очередности инвестирования в реализацию проекта (вывод из эксплуатации ЯРОО).

Для выводимых из эксплуатации ЯРОО такими частными качественными критериями, наряду с традиционными критериями, являются: принадлежность к определенной категории ЯРОО по степени их ЯРО; социально-политическая значимость ЯРОО; наличие проектной

документации (с учетом степени полноты ее проработки) 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:

$$K_i = \alpha_{i1} \cdot K_{i1} + \dots + \alpha_{iP} \cdot K_{iP}, \quad I = 1, \dots, N, \quad (5)$$

где

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

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

α_{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 α_{ip} , $i = 1, \dots, N$, $p = 1, \dots, P$ получены с помощью модифицированной схемы парных экспертных сравнений относительных значений K_i [3, 4] (на основе теории “The Analytic Network Process” [25]).

Для постановки задачи оптимального распределения инвестиционных ресурсов, для вывода из эксплуатации пакета ЯРОО предложено использовать многокритериальный подход на основе VaR- схемы, в рамках которой для каждого ЯРОО подсчитываются дополнительно два VaR-критерия. В итоге для формирования эффективных портфелей выводимых из эксплуатации ЯРОО вводится многокритериальная задача, в которой присутствуют 4 критерия: $\bar{R}_i, R_i^*, K_i, P_{risk}$, из которых 3 первых (\bar{R}_i, R_i^*, K_i) подлежат максимизации, а четвертый P_{risk} минимизации. Алгоритм численного решения многокритериальной задачи для нахождения решений Парето предполагает фиксацию приемлемого уровня инвестиционного риска, например, $P_{risk} = 0.05$. Затем для заданной инвестиционной суммы, которую нельзя превысить, набирается пакет ЯРОО, состоящий из последовательно включаемых в пакет ЯРОО с паретовским набором числовых значений критериев \bar{R}_i, R_i^*, K_i .

В третьей главе приводится методика оценки эффективности освоения финансирования при выводе из эксплуатации ЯРОО [4, 16].

На основании нормативных документов, регламентирующих обеспечение безопасности выводимых из эксплуатации ЯРОО, в т.ч. на основании федеральных норм и правил в области использования атомной

энергии, дается описание основных этапов проведения работ по выводу ЯРОО из эксплуатации после их окончательного останова.

Установленный в нормативных правовых документах порядок подготовки к выводу ЯРОО из эксплуатации и вывода ЯРОО из эксплуатации требует реализации комплекса технических и организационных мероприятий направленных на достижение конечного состояния выводимого из эксплуатации ОИАЭ. По мере реализации этих мероприятий должен снижаться уровень потенциальной опасности выводимого из эксплуатации ОИАЭ.

Каждый выводимый из эксплуатации ЯРОО характеризуется в конце каждого отчетного периода, с точки зрения обеспечения ЯРБ и выполнения программы его вывода из эксплуатации, несколькими показателями (мероприятиями) P_{ik} , $i=1, \dots, n$, $k=1, \dots, N$, i -номер показателя, n – число показателей, k – номер отчетного периода, N – число отчетных периодов.

Показатели для каждого отчетного периода объединяются в критерии $I_{j,k}$, $j=1, \dots, m$, числовые величины которых определяются числовыми значениями показателей:

$$P_{1,k}, \dots, P_{n_1,k} - \text{критерий } I_{1,k};$$

$$P_{n_1+1,k}, \dots, P_{n_1+n_2,k} - \text{критерий } I_{2,k};$$

.....

$$P_{n_1+n_2+\dots+n_{m-1},k}, \dots, P_{n,k} - \text{критерий } I_{m,k};$$

где n_j - число показателей, определяющих критерий $I_{j,k}$.

Вычисление числовых значений критериев производится с помощью формулы:

$$I_{j,k} = \sum_{i \in I_j} x_i \cdot \frac{P_{ik} \cdot 100}{P_{iN}}, \quad (6)$$

где суммирование производится по всем индексам, входящим в j -й критерий:

$$i = \sum_{j=1}^{j-1} n_j + 1, \dots, \sum_{j=1}^j n_j, \quad x_i - \text{коэффициент приоритета } x_i > 0, \quad \sum_{i \in I_j} x_i = 1.$$

Подсчет числового значения сводного критерия I_k ЯРБ ЯРОО в конце k -го отчетного периода подсчитывается с помощью формулы:

$$I_k = \sum_{j=1}^m \beta_j \cdot I_{j,k},$$

$$\text{где } \beta_j > 0, \quad \sum_{j=1}^m \beta_j = 1.$$

Пусть задан план показателей P_{ik}^* , $i=1, \dots, n$, $k=1, \dots, N$ для всего расчетного периода по всем ЯРОО и подсчитываются плановые значения сводного критерия I_k^* , $k=1, \dots, N$ для выбранных весов x_i^* , $i=1, \dots, n$.

Поскольку плановые значения показателей от предыдущего периода к последующему периоду монотонно растут, значения критериев I_{jk}^* и I_k^* также монотонно растут, причем $I_{j,N}^* = I_N^* = 100$.

Для прошедшего k -го расчетного периода в его конце поступают новые фактические выполненные значения показателей $P_{i,k}$, $i=1, \dots, n$.

Требуется скорректировать веса показателей x_i^* , $i=1, \dots, n$ в заданных пределах так, чтобы отклонение от планового значения I_k^* было минимальным.

Математическая модель вышеуказанной задачи оптимизации имеет вид:

$$\begin{aligned} (I_k - I_k^*)^2 - \min \\ \bar{x} = (x_1, \dots, x_n)^T \\ \sum_{i \in I_j} x_i = 1, \quad j=1, \dots, m, \\ (1 - \varepsilon_i) \cdot x_i^* \leq x_i \leq (1 + \varepsilon_i) \cdot x_i^*, \quad i=1, \dots, n, \end{aligned} \quad (7)$$

где $\varepsilon_i \in [0,1]$ – заданный уровень отклонения.

На рисунке 1 представлен пример нахождения оптимальных значений коэффициентов приоритета для j -го критерия.

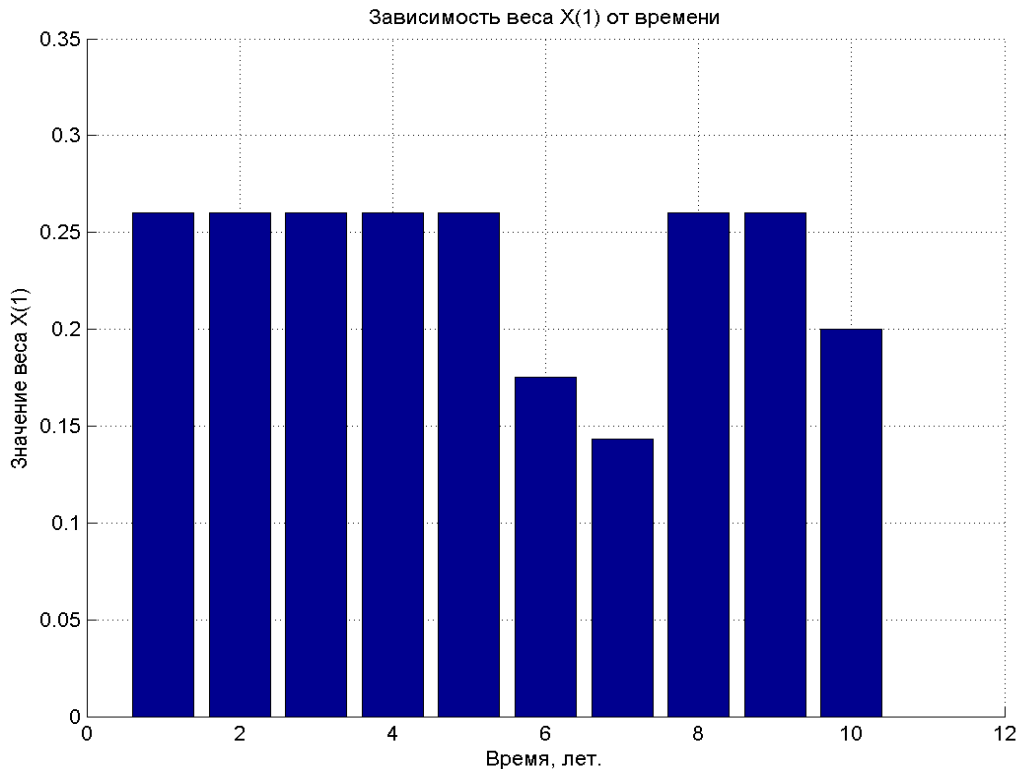


Рис.1. Оптимальное значение коэффициента приоритета для j -го критерия.

В четвертой главе с учетом приведенных во 2 и 3 главах схем и алгоритмов проводится численный расчет критериев принятия решений о выводе из эксплуатации ЯРОО на примере четырех объектов: радиохимического комплекса, исследовательского реактора, энергоблока АЭС, промышленного уран-графитового реактора [3].

В качестве примера проведенных расчетов на рисунках 2 и 3 представлены гистограммы распределения критерия инвестиционной эффективности для конкретных выводимых из эксплуатации ЯРОО – блока АЭС и промышленного уран-графитового реактора (ПУГР).

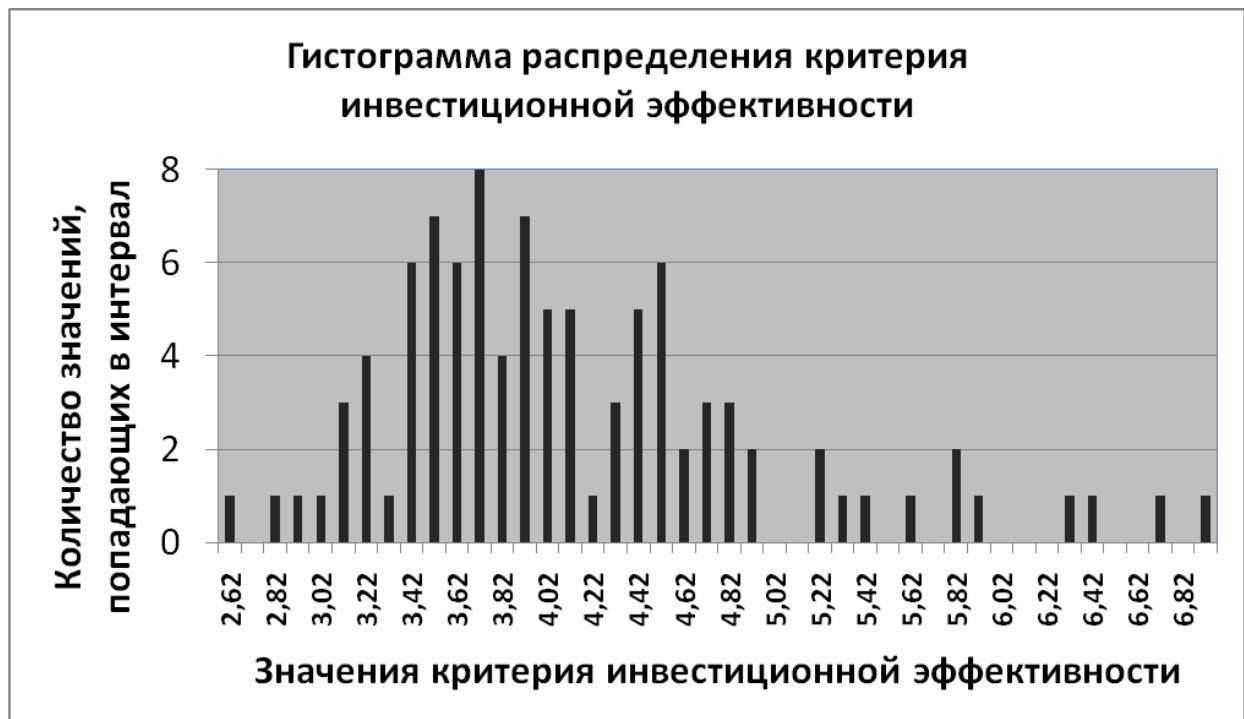


Рис.2 Гистограмма распределения критерия инвестиционной эффективности для блока АЭС.

Приведенная гистограмма распределения отражает следующие результаты расчета реализаций критерия инвестиционной эффективности (R_i) для блока АЭС: $R_{\text{средн.}} = 4,28$ $R_{\text{расчет.}} = 4,05$ $p(R < 1) = 0$

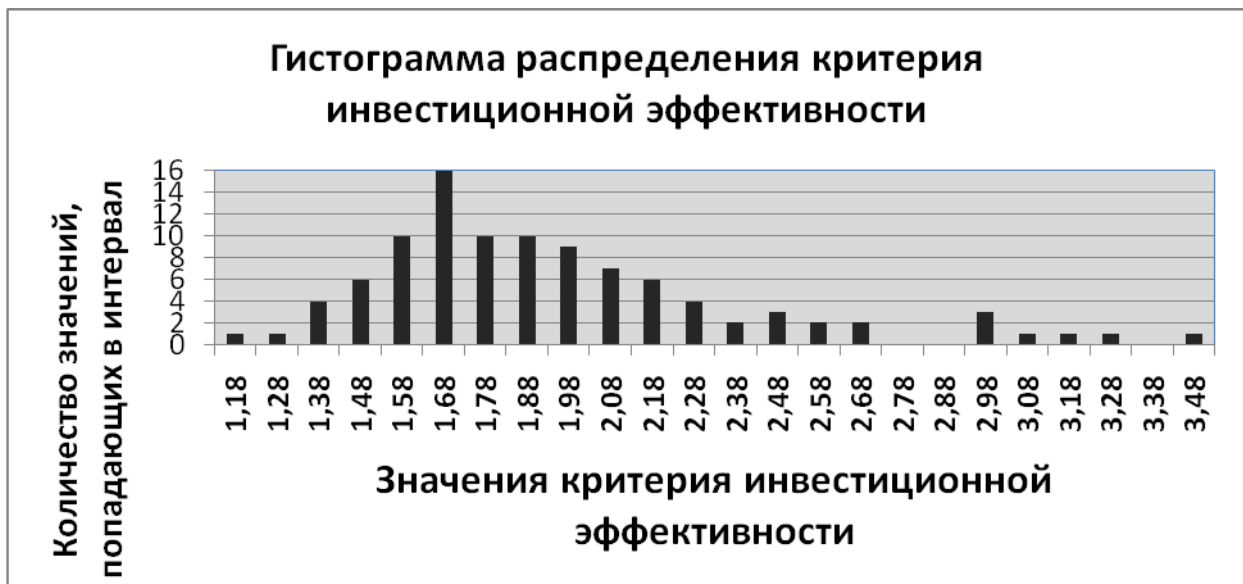


Рис.3 Гистограмма распределения критерия инвестиционной эффективности для ПУГР.

Приведенная гистограмма распределения отражает следующие результаты расчета реализаций критерия инвестиционной эффективности (R_i) для ПУГР: $R_{\text{средн.}} = 2,0$ $R_{\text{расчет.}} = 1,89$ $p(R < 1) = 0$.

Исходя из полученных результатов моделирования показано, что для указанных ЯРОО при рассмотрении вариантов их вывода из эксплуатации целесообразно отдавать предпочтение варианту немедленного вывода из эксплуатации, а не варианту длительного (в течение 50-ти и более лет) сохранения под наблюдением с последующим выводом из эксплуатации, поскольку в первом варианте достигается наибольшая экономическая эффективность реализации мероприятий по выводу из эксплуатации.

Эти результаты хорошо согласуются с принятыми в период 2009-2011 годов Госкорпорацией «Росатом» новыми концептуальными подходами к выводу из эксплуатации ПУГР-ов и блоков АЭС: вместо ранее рассматриваемых вариантов длительного, от 50 до 100 лет сохранения указанных объектов под наблюдением, принят вариант немедленного (порядка 10 лет) их ликвидации. Это еще раз подтверждает актуальность и практическую значимость полученных в диссертации результатов и позволяет, с учетом их многократного представления в Росатом в виде отчетов по результатам выполненных НИОКР, рассматривать их как часть научного обоснования принятых управленческих решений.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в диссертационной работе.

Основные результаты диссертационной работы

1. Предложены количественные критерии оценки экономической эффективности ВЭ ЯРОО.

2. Произведен расчет количественных критериев оценки экономической эффективности для ВЭ ЯРОО различных типов.

3. Произведен расчет комплексных критериев для выводимых из эксплуатации ЯРОО различных типов.

4. Разработана схема отбора и формирования эффективного пакета (портфеля) выводимых из эксплуатации ЯРОО на заданную инвестиционную сумму, основанная на решениях Парето.

5. Разработана схема, позволяющая корректировать в динамическом адаптационном режиме выполнение мероприятий по ВЭ ЯРОО.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке и реализации отраслевых программ и мероприятий по выводу из эксплуатации ЯРОО.

Публикации по теме диссертации:

Статьи в научных изданиях, входящих в перечень ВАК:

1. Емец П.Е., Крянев А.В. Методика оценки экономической эффективности при выводе из эксплуатации ядерно и радиационно опасных объектов. // Налоговая политика и практика, 2008, №7/1, с. 50-53.

2. Емец П.Е., Крянев А.В. Подходы к категорированию ядерно и радиационно опасных объектов и обеспечению эффективного финансирования их вывода из эксплуатации. // Аудит и финансовый анализ, №2, 2010.

3. Емец П.Е., Крянев А.В. Схема системных оценок оптимального объема финансирования, направляемого на обеспечение ядерной и радиационной безопасности выводимых из эксплуатации ядерно и радиационно опасных объектов. // Аудит и финансовый анализ, №3, 2010.

4. Емец П.Е., Крянев А.В. Экономическая эффективность вывода из эксплуатации ядерно и радиационно-опасных объектов. // Ядерная и радиационная безопасность, 2011, №1 (59), с.10-19.

Научные публикации в других изданиях:

5. Емец П.Е., Крянев А.В. Математическое моделирование задач оптимального распределения ресурсов для обеспечения ядерной и радиационной безопасности выводимых из эксплуатации ядерно и радиационно опасных объектов. // Сборник научных трудов «Научная сессия МИФИ-2007». М.: МИФИ, 2007.

6. Емец П.Е., Крянев А.В. Схемы оценок эффективного финансового и материального обеспечения ядерной и радиационной безопасности выводимых из эксплуатации ядерно и радиационно-опасных объектов. // Сборник научных трудов «Научная сессия МИФИ-2007». М.: МИФИ, 2007.

7. Емец П.Е., Ковалевич О.М., Крянев А.В., Шарафутдинов Р.Б. Математические модели расчета инвестиционной эффективности вывода из эксплуатации ЯРОО. // Препринт МИФИ 002-2007. М.: МИФИ, 2007., 27 стр.

8. Емец П.Е., Ковалевич О.М., Крянев А.В., Неретин В.А., Шарафутдинов Р.Б. Системный подход при финансировании мероприятий по выводу из эксплуатации ЯРОО, классифицируемых в зависимости от категории их ЯРО. // Препринт МИФИ 005-2007. М.: МИФИ, 2007., 23 стр.

9. Емец П.Е., Крянев А.В. Математическая модель оценки ядерной и радиационной безопасности ядерно и радиационно-опасных объектов по нескольким частным критериям. // Сборник научных трудов «Научная сессия МИФИ-2008». М.: МИФИ, 2008., стр. 82-83.

10. Емец П.Е., Крянев А.В. Расчет эффективности инвестиционных вложений для выводимых из эксплуатации ЯРОО. // Сборник научных трудов «Научная сессия МИФИ-2008». М.: МИФИ, 2008.

11. Емец П.Е., Крянев А.В. Методика оценки экономической эффективности вывода из эксплуатации ядерно и радиационно опасных объектов. // Бюллетень по атомной энергии, 2008, №11, стр. 4-7.

12. Емец П.Е., Крянев А.В. Схемы классификации ядерно- и радиационно-опасных объектов. // Сборник научных трудов «Научная сессия МИФИ-2009». М.: МИФИ, 2009.

13. Емец П.Е., Крянев А.В. Математическое моделирование для расчета эффективности и риска при выводе из эксплуатации радиационно опасных объектов. // Тезисы и доклады «XLV Всероссийской конференции по проблемам математики, информатики, физики и химии». М.: Российский университет дружбы народов, 2009.

14. Емец П.Е., Крянев А.В. Экономические критерии управления уровнем ядерной и радиационной безопасности выводимых из эксплуатации объектов. Фундаментальные физико-математические проблемы и моделирование технико-технологических систем. // Ежегодный сборник научных трудов. Московский технологический университет «Станкин», Институт математического моделирования РАН. Вып. 13, т.2, 2010.

15. Емец П.Е., Крянев А.В. Инвестиционная эффективность вывода из эксплуатации ядерно и радиационно опасных объектов. «Научная сессия МИФИ-2011». М.: МИФИ, 2011.

16. Емец П.Е., Крянев А.В. Управление выполнением программ по выводу из эксплуатации ядерно и радиационно опасных объектов. Труды «XLVII Всероссийской конференции по проблемам математики, информатики, физики и химии». М.: Российский университет дружбы народов, 2011, с. 136.

Общий объем публикаций автора по теме диссертации составляет около 4 п. л.

Цитируемая литература

17. Федеральный закон от 21.11.1995 № 170-ФЗ "Об использовании атомной энергии" с изменением и дополнением от 10.02.1997 № 28-ФЗ

18. Энергетическая стратегия России на период до 2020 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации № 1234-р от 28.08.2003.

19. Основы государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2010 года и дальнейшую перспективу. Утверждены Президентом Российской Федерации 04.12.2003 Пр-2196.

20. Концепция вывода из эксплуатации ядерных установок, радиационных источников и пунктов хранения. Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом». Утверждена генеральным директором Госкорпорации «Росатом» 26.02.2008.

21. Правила обеспечения безопасности при выводе из эксплуатации блока атомной станции, НП-012-99.

22. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99), Минздрав России, 2000.

23. Агапов А.М., Архангельский Н.В., Ахунов В.Д., Казаков С.В., Линге И.И. Вывод ЯРОО из эксплуатации: состояние, проблемы, перспективы. Препринт, М.: ИБРАЭ РАН, 2006, стр. 18.

24. Крянев А.В., Лукин Г.В. Математические методы обработки неопределенных данных. М.: Наука, 2006.

25. Saaty T.L. Decision making with dependence and feedback. The Analytic Network Process. The organization and prioritization of complexity. University of Pittsburgh, 1997.

26. Шевелев Я.В., Клименко А.В. Эффективная экономика ядерного топливно-энергетического комплекса. М.: 1996.

27. Клименко А.В. Математическая модель оптимизации энергосистемы и ее применение. М.: Изд-во МИФИ. 2010.

Емец Павел Евгеньевич (Россия)

Эффективность распределения и освоения инвестиций для вывода из эксплуатации ядерно и радиационно опасных объектов

В работе предложены показатели экономической эффективности вывода из эксплуатации ядерно и радиационно опасных объектов и разработана численная схема их расчета.

Разработана схема учета показателей при комплексной оценке эффективности, связанной с распределением и освоением инвестиционных ресурсов, выделяемых для вывода из эксплуатации ядерно и радиационно опасных объектов.

Предложена схема динамической адаптационной коррекции показателей значимости ядерно и радиационно опасных объектов, определяющая очередность их вывода из эксплуатации, и дана ее численная реализация.

Emets Pavel Evguenyevich (Russia)

Distribution and disbursement efficiency of investment for nuclear and radiation hazardous sites under its decommissioning

In the paper numerical schemes and their calculation of the economical efficiency indicators referred to the decommissioned nuclear and radiation hazardous sites (NRH sites) are developed.

The scheme concerns the complex estimation of the efficiency referred to the distribution and disbursement of the investment allocated for NRH sites while its decommissioning.

The scheme of dynamic adaptative correction of the NRH sites' significance which defines the succession of their decommissioning is offered and calculated.