

## ОТЗЫВ

**официального оппонента д.т.н. Александра Владимировича Чеснокова на диссертационную работу Самойлова Андрея Анатольевича «Системная оптимизация и обоснование решений по безопасной эксплуатации установок по обращению с РАО на объектах ядерного топливного цикла», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.03 «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации» в диссертационный совет Д 002.070.01.**

Темой диссертационного исследования Андрея Анатольевича Самойлова «Системная оптимизация и обоснование решений по безопасной эксплуатации установок по обращению с РАО на объектах ядерного топливного цикла», результаты которого представлены в работе на соискание ученой степени кандидата технических наук, является важная и актуальная проблема разработки и обоснования безопасности и экологической приемлемости предложений по оптимизации технологических решений по обращению с радиоактивными отходами (РАО) на объектах ядерного топливного цикла. Для решения этой проблемы был разработан подход оценки эффективности деятельности ЕГС РАО, позволяющий провести сравнительный анализ различных технологических и организационных решений. В качестве критерия был предложен функционал влияния тех или иных технических, технологических и организационных воздействий на финансовые затраты полного цикла обращения с РАО, включая их захоронение.

Практический анализ отдельных этапов цикла обращения с РАО определил зоны оптимизации всего процесса и выделил приоритетные области, дающие наибольшую экономию ресурсов. Наиболее важным практическим результатом работы явились предложенный подход к ограничению перечня короткоживущих радионуклидов, определяющих необходимость захоронения в пунктах захоронения РАО (ПЗРО) на средней глубине и пунктах геологического захоронения РАО (ПГЗРО); предложения по расширению номенклатуры классов удаляемых РАО;

предложения по корректировке критериев классификации для отдельных радионуклидов с учетом их характеристик.

Автором выдвигается положение о приоритетности системной оптимизации в сравнении с оптимизацией проектирования и эксплуатации конкретных установок по обращению с РАО, а также обосновываются тезисы по возможности и безопасности использования загрязненных материалов при консервации пунктов размещения особых РАО.

В ходе работы над диссертацией автор применял результаты модельных расчетов миграционного распространения радионуклидов при захоронении РАО в приповерхностных ПЗРО и в пунктах, размещенных на средней глубине. На основе этого были выдвинуты предложения по размещению РАО, содержащих радионуклиды  $^{14}\text{C}$  и  $^{36}\text{Cl}$  в ПЗРО, размещенных на средней глубине, что существенно удешевляет процесс из захоронения.

Результаты расчетов по геохимическому и миграционному моделированию распространения радионуклида  $^{90}\text{Sr}$  в конкретных геологических условиях обосновывают возможность использования радиоактивно загрязненных цементосодержащих материалов при консервации приповерхностного водоема-хранилища В-17 ФГУП «ПО «Маяк».

Аналогичные расчеты, выполненные для других объектов, позволили определить предельные активности отдельных ПЗРО особых РАО и обосновать возможность доразмещения в них отходов с других радиационно-опасных объектов.

Диссертация Самойлова А.А. включает введение, четыре главы и заключение, изложенные на 135 страницах машинописного текста, содержит 20 таблиц и 24 рисунка, а также список литературы из 107 наименований.

**Во введении** автор обосновывает актуальность диссертационного исследования, определяет цель и задачи диссертационной работы, подтверждает научную новизну и практическую значимость полученных результатов, сформулирует положения, выносимые на защиту, представляет личный вклад автора, доказывает достоверность и обоснованность выводов сравнением с результатами других исследований и верификацией данных с оценками других научных коллективов.

**В первой главе** проведен анализ текущего состояния различных элементов единой государственной системы РАО (ЕГС РАО), показано, что участники ЕГС РАО имеют лишь частично совпадающие (а иногда противоположные) интересы, обосновывается необходимость проведения системной оптимизации, которая должна предварять оптимизацию в отношении отдельных технологических решений по конкретным установкам и переделам ядерного топливного цикла (ЯТЦ). Показано, что в зону системной оптимизации целесообразно включить все вновь образующиеся и накопленные РАО на всех предприятиях ЯТЦ России, а также нормативно-правовые документы, регулирующие обращение с ними.

Для сопоставления мер оптимизации по воздействию на эффективность предложено использовать функционал, учитывающий степень охвата отдельных потоков РАО организационно-финансовой моделью; технологическими решениями по обращению с ними, в том числе их хранение и захоронение; включающий затраты на реализацию полного цикла обращения с РАО и другие параметры, позволяющие определить потенциальную опасность объекта размещения РАО.

В диссертационной работе предлагается на первом этапе провести анализ деятельности по обращению с РАО на всех предприятиях ЯТЦ России с выделением отдельных проблемных зон, определить приоритетные и сгруппировать их с учетом технологических связей. В дальнейшем должны быть выделены технологические решения, соответствующие лучшим практикам в данной области и проведено обоснование их соответствия современным требованиям долгосрочной безопасности и экологической приемлемости.

**Вторая глава** диссертации посвящена определению приоритетных направлений оптимизации. Для оценки экономической эффективности используется представленный выше функционал, включающий суммарную стоимость обращения с потоком РАО и встраивание потока РАО в организационно-финансовую модель ЕГС РАО. С целью определения потенциальных направлений оптимизации рассматривается детализированная структура затрат на полный цикл обращения с РАО.

Как результат на основе данных скрининга основных стадий обращения с РАО, выполненного для вновь образующихся (эксплуатационных), накопленных на

объектах ЯТЦ РАО и для РАО от вывода из эксплуатации объектов ЯТЦ определены 16 потенциальных зон оптимизации. Скрининг проводился на основе достаточно детальных структурных моделей жизненного цикла эксплуатационных и накопленных РАО. В этой же главе разобраны причины и направления оптимизации для выделенных зон, на конкретных примерах рассмотрены возможности оптимизации затрат для отдельных зон. С использованием предложенного выше функционала определены приоритетные зоны оптимизации, что позволило выделить их как наиболее значимо влияющие на суммарные затраты с учетом практического опыта обращения с РАО и оценки безопасности, включая долговременную консервацию.

В данной главе выделены некоторые наиболее значимые зоны оптимизации, в частности, проблематика классификации удаляемых РАО для захоронения. Яркой демонстрацией ее недостатков является несогласованность двух критериев: классификации удаляемых РАО и отнесения отходов к РАО. Первый установлен в форме суммарной удельной активности бета-, альфа-излучающих радионуклидов и ТУЭ, второй установлен в виде значений ПЗУА. В результате для некоторых радионуклидов удельные активности могут соответствовать классу 3 и даже 2, хотя и не превышать значения ПЗУА. Установление более гибкой номенклатуры классов РАО с учетом рекомендаций МАГАТЭ и технологических особенностей различных потоков РАО даст возможность снизить затраты на их захоронение. Действующая классификация удаляемых РАО является единственным нормативным указанием для структуры ПЗРО, что ведет к объединению в одну категорию принципиально разные типы захоронения (приповерхностное и на средней глубине). Более гибкий подход позволяет снизить стоимость захоронения некоторой категории отходов 2 класса, таких как реакторный графит.

Другой значимой возможностью оптимизации затрат может стать использование отходов от вывода из эксплуатации при консервации пунктов хранения особых РАО (ПХОРАО) и закрытии ПЗРО. В заключительном разделе главы представлены исходные данные и результаты сравнительного анализа влияния мер по оптимизации на эффективность ЕГС РАО.

В третьей главе в качестве первоочередной меры по повышению эффективности обращения с эксплуатационными и удаляемыми накопленными РАО

предложено расширить систему их классификации. Подобное расширение должно стимулировать национального оператора к созданию новых типов захоронения – ПЗРО на средних глубинах и ПЗРО для захоронения ОНРАО. Приведена оптимизированная структура классов РАО. Предложение о разделении предназначений классификации РАО и критериев приемлемости было поддержано решением НТС № 10 Госкорпорации «Росатом» и вошло в предложения Госкорпорации «Росатом» к проекту постановления Правительства о внесении изменений в действующую классификацию удаляемых РАО, направленную в Ростехнадзор.

Здесь же представлены результаты моделирования процессов выхода и распространения радионуклидов как в ходе штатной эксплуатации ПЗРО, так и в случаях непредумышленного вторжения для конкретных проектов пунктов захоронения. В первом исследовании была создана модель ПЗРО, разработанная для площадки вблизи г. Сосновый Бор, а при моделировании миграции радиологически значимых радионуклидов  $^{14}\text{C}$  и  $^{36}\text{Cl}$  использовался аттестованный расчетный код GeRa\V1. Результаты расчетов показывают, что при захоронении 60000 тонн облученного графита значение удельной активности указанных нуклидов в грунтовой воде в точке мониторинга не будет превышать значения 0,1 УВ (уровень вмешательства), которое соответствует дозовому критерию 10 мкЗв/год при потреблении питьевой воды. Примечателен при этом рисунок 3.6 диссертации, который показывает, что при заданных начальных удельных активностях  $^{14}\text{C}$  и  $^{36}\text{Cl}$  в реакторном графите, определяемых флюенсом тепловых нейтронов в демонтируемом реакторе,  $^{36}\text{Cl}$  не играет никакой роли по сравнению с  $^{14}\text{C}$  на любом значимом временном промежутке, не смотря на более высокую миграционную способность.

Во втором рассмотренном конкретном примере обоснованы предельно допустимые значения удельной активности для отдельных долгоживущих радионуклидов в приповерхностном ПЗРО. Для оценки базового сценария использовался тот же расчетный код GeRa\V1 и модель ПЗРО на основе концепции, разработанной для площадки вблизи г. Озерск. Полученные результаты показали возможность установления существенно более мягких (на порядки) критериев классификации для ряда радионуклидов ( $^{59}\text{Ni}$ ,  $^{63}\text{Ni}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ).

В конце главы сформулированы некоторые основные выводы:

- необходимость согласованного изменения структуры ПЗРО и номенклатуры классов удаляемых РАО (РАО, подлежащих захоронению на средней глубине; ОНРАО; ОЗИИИ; РАО от добычи и переработки минерального и органического сырья);
- возможность безопасного захоронения РАО в виде облученного графита на средней глубине в глиняных формациях;
- целесообразность существенного сокращения перечня радионуклидов, ограничивающих возможность приповерхностного захоронения;
- возможность смягчения критериев классификации для ряда долгоживущих радионуклидов: от 10 (изотопы плутония) до  $10^5$  (для  $^{63}\text{Ni}$ ) раз.

В 4-ой главе диссертации содержатся предложения по технологически изолированным зонам оптимизации, то есть отдельным пунктам размещения (консервации) особых РАО. Обосновывается возможность применения загрязненных материалов, образующихся при выводе из эксплуатации объектов радиохимического производства при консервации водоема-хранилища ЖРО В-17 (ФГУП «ПО «Маяк»). Результаты расчетов миграции  $^{90}\text{Sr}$  в грунтовых водах показали незначительное влияние на долговременную безопасность при использовании вторичных загрязненных цементосодержащих материалов для проведения работ по засыпке акватории водоема В-17. Отмечено, что такие результаты обусловлены во многом спецификой гидрогеологических характеристик водоема, который является искусственным и будет осушаться по мере фильтрации воды, снижая тем самым степень подщелачивания. Для других водоемов влияние может быть существенно выше и обоснование безопасности должно осуществляться, в том числе на основании данных экспериментального исследования процессов, определяющих долговременную безопасность.

В заключении и выводах работы сформулированы основные результаты диссертационной работы. Полученные результаты использованы и учтены: при подготовке предложений Госкорпорации по корректировке Федерального закона «Об обращении с РАО и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» № 190-ФЗ, постановления Правительства Российской

Федерации от 19.10.2012 № 1061, ОСПОРБ-99/2010, при разработке федеральных норм и правил НП-103-17 «Требования к обеспечению безопасности пунктов размещения особых радиоактивных отходов и пунктов консервации особых радиоактивных отходов» и руководства по безопасности РБ-154-19 «Рекомендации по применению метода радионуклидных соотношений для определения содержания сложнодетектируемых радионуклидов в радиоактивных отходах предприятий ядерного топливного цикла», а также при реализации ряда ресурсоемких проектов по выводу из эксплуатации и обращению с РАО.

### Замечания и пожелания.

В диссертационной работе научно обоснованы предложения по изменению законодательной базы в области обращения и захоронения РАО, тем не менее она не лишена недостатков.

1. На рисунке 2.4 значения удельной активности представлены по экспоненциальной шкале, а сама ось обозначена как  $\lg A_{\text{уд}}$ , при этом размерность удельной активности не дана вообще.

2. Не на всех рисунках читаются надписи (смотри Рис. 2.3, Рис. 4.4).

3. Цитирование литературы идет не по порядку, так ссылка 15 идет после 16-17, 45 после 47, а 49 после 61 и т.д.

4. Использована странная нумерация рисунков, так в главе 1 присутствует Рис. 0.1, а дальше рисунки нумеруются по нумерации глав Рис. 2.1 и т.д.

5. Таблица 0.1 имеет продолжение 1.1.

6. Выражение (7) отсутствует полностью, а номера (11) и (13) использованы дважды для разных уравнений.

7. Не все использованные в диссертации сокращения приведены в списке сокращений.

Тем не менее, работа, безусловно, создает общее положительное впечатление, а указанные замечания не умаляют ее научную значимость и ценность.

По диссертационной работе в целом, следует отметить:

**научная новизна диссертации**, с моей точки зрения, состоит том, что разработан подход к оценке эффективности деятельности ЕГС РАО, позволяющий провести сравнительный анализ различных технологических и организационных

решений. Предложена корректировка классификации удаляемых РАО для целей их захоронения на основе оценки долгосрочной безопасности по различным типам сценариев (базовый и альтернативные);

полученные диссертантом результаты имеют несомненную **практическую ценность**, заключающиеся в разработке общих рекомендаций по корректировке технологических решений и нормативно-правового регулирования, направленных на повышение эффективности деятельности по захоронению РАО и их конкретным развитием для отдельных нормативных документов и крупных объектов размещения особых РАО;

**достоверность результатов** диссертации Самойлова А.А. не вызывает сомнений, поскольку, использованы аттестованные коды расчета распространения радионуклидов в окружающей среде, оценки и выводы согласуются с результатами исследований других научных коллективов, верифицированы данными изменений в реальных условиях;

**диссертант лично** разработал подход к оценке эффективности деятельности по обращению с РАО; провел проблемно-ориентированный анализ деятельности по обращению с РАО в новых нормативно-правовых условиях и формировании перечня зон оптимизации в области обращения с РАО; выявил и ранжировал зоны оптимизации по обращению с РАО и оценил их влияние на эффективность ЕГС РАО; разработал предложения по согласованной корректировке системы ПЗРО и критериев классификации удаляемых РАО с использованием результатов расчетов по миграционному моделированию для конкретных объектов;

**по теме диссертации опубликовано** 18 научных работ из них 12 статей в специализированных изданиях, включая 4 статьи в журналах по перечню ВАК Минобрнауки России, 1 монография, 1 препринт и 4 доклада на российских и международных конференциях и семинарах;


**автореферат** в полной мере соответствует основным идеям, положениям, содержанию и выводам диссертации, а результаты диссертации достаточно полно представлены в научных публикациях автора.

Оценивая работу в целом, считаю, что представленная Андреем Анатольевичем Самойловым диссертация является законченным научным трудом и выполнена на высоком научном уровне. Содержание диссертации полностью



соответствует специальности 05.14.03 – Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации и отрасли науки «технические науки». Диссертация соответствует п. 9 Положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842. Сам автор Самойлов А.А. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по указанной специальности.

Официальный оппонент,  
доктор технических наук,  
«18» ноября 2020 г.

  
Чесноков А.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение Национальный  
исследовательский центр «Курчатовский институт»  
123182, г. Москва, пл. Курчатова, д.1  
Тел. (499) 196-7100#6282  
Email: Chesnokov\_AV@nrcki.ru

Подпись Чеснокова А.В. заверяю.

Заместитель директора –  
главный ученый секретарь  
НИЦ «Курчатовский институт»



  
Николаенко А.В.