

УДК: 621.039

**О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСНОГО
ПОКАЗАТЕЛЯ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ОПАСНОСТИ В КАЧЕСТВЕ ОСНОВЫ
ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ПОДХОДА К РЕГУЛИРОВАНИЮ
БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ «ЯДЕРНОГО НАСЛЕДИЯ»**

Хамаза А.А., Бочкарев В.В., Курындин А.В., к.т.н.,
Абакумова А.С. (ФБУ «НТЦ ЯРБ»), Тихомиров Г.В., д.ф-м.н. (НИЯУ «МИФИ»)

В статье рассмотрены особенности применения риск-ориентированного подхода при регулировании безопасности объектов «ядерного наследия». На примере пунктов размещения и пунктов консервации особых РАО продемонстрирована возможность использования комплексного показателя потенциальной опасности объектов «ядерного наследия» в качестве одного из основных факторов риска.

► **Ключевые слова:** ядерное наследие, регулирование безопасности, риск-ориентированный подход, комплексный показатель потенциальной опасности, фактор риска, степень риска, категория риска.

**CONCERNING THE POSSIBILITY OF APPLYING THE SAFETY AND
ENVIRONMENTAL DETRIMENT SCORE AS THE BASIS OF THE DIFFERENTIAL
APPROACH TO THE SAFETY REGULATION OF
«NUCLEAR LEGACY» FACILITIES**

Khamaza A., Bochkarev V., Kuryndin A., Ph.D.,
Abakumova A. (SEC NRS), Tihomirov G., Ph.D. (MEPhI)

This paper considers the particularities of application of the risk-informed approach for the safety regulation of «nuclear legacy» facilities. The possibility of applying the safety and environmental detriment score in the capacity of one of the main risk factors is demonstrated by the example of special radioactive waste emplacement facilities and special radioactive waste isolation facilities.

► **Key words:** nuclear legacy, safety regulation, risk-informed approach, safety and environmental detriment score, risk factor, risk degree, risk category.

Все страны, входящие в список ядерных держав, столкнулись с одинаковой проблемой, обусловленной тем, что накопленные на раннем этапе развития ядерно-промышленного комплекса радиоактивные отходы (РАО) не в полном объеме соответствуют современным требованиям безопасности. Так, в США за прошедшие 50 лет исследования при производстве ядерного оружия проводились на 107 площадках общей площадью 0,8 млн. га [1]. Объемы размещенных на них РАО на момент начала реализации американской программы по выводу из эксплуатации (ВЭ) оценивались в миллионы кубических метров [2]. В Великобритании к объектам «ядерного наследия» отнесено 17 площадок, загрязненных в результате деятельности, начиная с 1940-х гг. [3, 4]. Значительное количество исторических РАО, не соответствующих современным требованиям безопасности, накоплено во Франции. В частности, на объекте Мальези (Malvesi, AREVA NC), где с 1960 г. производился тетрафторид урана, образовались водоемы, содержащие около 280000 м³ шламов, а также более 300000 м³ твердых отходов [5].

Не является исключением и Российская Федерация. Согласно приведенным в [6] оценкам, к ядерно- и радиационно опасным объектам (ЯРОО) относятся ~2200 объектов, более половины которых введены в эксплуатацию до 1970 г. К 2025 г. планируется прекращение эксплуатации ~740 ЯРОО, что составляет около 35 % от их общего количества. Как показывает практика, для ощутимого снижения потенциальной опасности объектов «ядерного наследия» необходимо выполнение ряда дорогостоящих организационно-технических мероприятий [7, 8]. Следует, однако, констатировать, что необходимость снижения опасности объектов «ядерного наследия» предусмотрена на законодательном уровне [9], при этом до 2025 г. планируется полностью ликвидировать 58 таких объектов [6].

Следовательно, одной из актуальных задач по реализации основных направлений государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности в Российской Федерации [10] является организация и обеспечение безопасного и экономически эффективного обращения с РАО. Как правило, накопленные отходы «ядерного наследия» не соответствуют современным требованиям безопасности в полном объеме. В соответствии с принятым Федеральным законом от 11 июля 2011 г. № 190-ФЗ [9], ответственность за отходы, образовавшиеся до вступления его в силу, лежит на госу-

дарстве. Таким образом, для решения накопленных проблем «ядерного наследия» необходимо принятие управленческих решений на государственном уровне.

С учетом большого количества накопленных исторических РАО, варьирующихся в широких пределах по потенциальной опасности, определяемой характеристиками РАО и свойствами окружающих их защитных барьеров, общепринятой мировой тенденцией как при обращении с ними, так и при регулировании безопасности является применение дифференцированного подхода, позволяющего сконцентрировать усилия на объектах, представляющих наибольшую опасность [4, 5, 11].

Применение дифференцированного подхода при регулировании безопасности в области использования атомной энергии в Российской Федерации установлено на законодательном уровне. Так, в статье 24 Федерального закона от 21.11.1995 г. № 170-ФЗ [13] установлено, что «меры, реализуемые органами государственного регулирования безопасности, по выполнению возложенных на них полномочий должны быть соразмерны потенциальной опасности объектов использования атомной энергии и деятельности в области использования атомной энергии». Необходимость применения дифференцированного подхода при регулировании безопасности также заложена в пунктах 6 и 7 статьи 8 [9], согласно которой федеральные нормы и правила, устанавливающие требования к обеспечению безопасности при обращении с РАО, должны учитывать особенности отдельных пунктов хранения. В статье 8.1 Федерального закона от 26 декабря 2008 г. № 294-ФЗ [13] предусмотрено применение риск-ориентированного подхода при организации отдельных видов государственного контроля (надзора) и в общих чертах определен порядок его применения, согласно которому интенсивность контроля устанавливается в зависимости от категории риска объекта. Детально порядок применения риск-ориентированного подхода будет установлен после принятия нового Федерального закона «Об основах государственного и муниципального контроля и надзора в Российской Федерации» [14]. Согласно проекту этого закона, интенсивность контрольно-надзорной деятельности должна определяться категорией риска или классом опасности, присвоенным данному объекту на основании сопоставления его характеристик с критериями рисков [14].

Следует отметить, что понятие «риск» в разных областях имеет различные определения [15], которые, в принципе, сходятся к тому, что риск является

мерой опасности возможных аварий и тяжести их последствий. Однако попытки напрямую применить известные и хорошо проработанные методы теории надежности к оценке частоты редких уникальных событий, а теории вероятностей – к определению случайных величин аварийных ущербов в сложных технико-социальных системах не принесли удовлетворительных результатов вследствие присущих этим теориям ограничений. Так, теория надежности оперирует со случайной величиной времени между последовательными отказами, которая для уникальных аварий стремится к бесконечности. Кроме того, причинами аварий выступают не только отказы техники, но и плохо формализуемые ошибки человека и слабо предсказуемые внешние воздействия.

Наиболее удачным примером длительной и трудоемкой научно-технической адаптации методов теории надежности к проблеме аварийности служит ВАБ – вероятностный анализ безопасности энергоблока атомной станции. Несмотря на имеющиеся недостатки ВАБ [16], накопленные статистика и мировой опыт эксплуатации большого количества реакторов одного типа позволяют достаточно успешно применять ВАБ, в том числе использовать его результаты при проектировании энергоблоков. Что касается прочих объектов использования атомной энергии (предприятий ядерного топливного цикла, хранилищ РАО), то возможности применения ВАБ для них резко ограничены. В первую очередь, это связано с тем, что каждое предприятие уникально, на каждом используется оборудование, которое, как правило, существует в единичном экземпляре, что не позволяет накопить статистические данные по его эксплуатации. Что же касается таких объектов, как хранилища «исторических» РАО, то тут ситуация усугубляется тем, что очень многие из них не имели никакого проекта, и подробная информация об их составе и состоянии отсутствует.

Учитывая вышесказанное, вместо ВАБ в [17, 18] предлагается в качестве простого и эффективного инструмента, позволяющего оценивать потенциальную опасность объектов «ядерного наследия», использовать комплексный показатель потенциальной опасности ЯРОО для населения и окружающей среды (КП). КП рассчитывается путем покомпонентного учета данных о состоянии объекта и размещенных в нем радиоактивных материалов, включая такие характеристики, как [17, 18]:

- активность радиоактивных материалов и веществ, которые находятся на рассматриваемом объекте в виде упакованных или неупакованных материалов, радиоактивных загрязнений, в том числе активность отдельных нуклидов и/или суммарные альфа- и бета- активности в случае неизвестного радионуклидного состава;
- способность содержащих радионуклиды материалов к распространению в окружающей среде, определяемая их агрегатным состоянием;
- уровень неопределенности (изученности) свойств радиоактивных и иных материалов и веществ, содержащихся в объекте;
- стабильность состояния материалов, содержащих радионуклиды;
- состояние барьеров безопасности.

При проведении расчетов рассматриваемый объект «разбивают» на элементы, которые могут быть охарактеризованы достаточно однородными характеристиками материалов, содержащих радионуклиды, состоянием барьеров безопасности. Расчет КП для отдельных элементов осуществляется по следующей формуле [17, 18]:

$$\text{КП} = \text{ПРО} \cdot (\text{ИО} \cdot \text{ИНО})^4, \quad (1)$$

где:

ПРО – потенциал радиологической опасности;

ИО – идентификатор объекта;

ИНО – идентификатор неопределенности отходов.

Принципиальная схема проведения расчета КП представлена на рис. 1.

Далее представлены результаты расчета КП для 173 пунктов размещения и пунктов консервации особых РАО, включая:

- пункты хранения твердых РАО (ТРО) в составе различных объектов использования атомной энергии (эксплуатируемые и остановленные);
- хранилища жидких РАО (ЖРО) в составе различных объектов использования атомной энергии (эксплуатируемые и остановленные);
- хвостохранилища;
- поверхностные водоемы-хранилища ЖРО;
- пункты размещения и пункты консервации особых РАО на площадках промышленных реакторов;
- объекты использования ядерных зарядов в мирных целях.

По совокупности всех рассмотренных параметров и их комбинаций для распределения значений КП рассмотренных пунктов размещения и

консервации особых РАО как величин, характеризующих уровень безопасности, были предложены следующие условные зоны:

- зеленая зона: до 10^7 – достаточный уровень безопасности;

на площадках промышленных уран-графитовых реакторов;

- 2 группа – пункты размещения особых РАО, образовавшиеся в результате применения мирных ядерных взрывов (МЯВ), в которых



Рис. 1. Принципиальная схема проведения расчета КП

- белая зона: $10^7 - 10^{14}$ – приемлемый уровень безопасности;
- желтая зона: $10^{14} - 10^{23}$ – приемлемый уровень безопасности при выполнении специальных мер технического и организационного характера по обеспечению безопасности;
- красная зона: КП более 10^{23} – низкий уровень безопасности.

Следует отметить, что представленное деление на уровни безопасности является достаточно субъективным, основанным на экспертных оценках авторов [17, 18] и требует дальнейшей детальной проработки с учетом международного опыта по использованию показателей (индикаторов) безопасности, например отраженного в [19, 20].

По результатам вычисления КП для всей совокупности объектов установлено, что по величине КП пункты хранения особых РАО условно можно разделить на 5 групп, характеризующихся сходными свойствами (рис. 2), которые преимущественно включают в себя:

- 1 группа – хранилища ТРО с инженерными барьерами, включая объекты, расположенные

отсутствуют ЖРО;

- 3 группа – хранилища ТРО без инженерных барьеров и емкости-хранилища ЖРО;

- 4 группа – МЯВ, в которых присутствуют ЖРО;

- 5 группа – водоемы-хранилища ЖРО и хвостохранилища.

Как видно из рис. 2, значения КП пунктов размещения и пунктов консервации особых РАО варьируются в широком диапазоне и позволяют эффективно выделить наиболее опасные из них.

Представленные далее распределения значений КП для отдельных категорий пунктов размещения и пунктов консервации особых РАО, а именно: поверхностных промышленных водоемов-хранилищ ЖРО и хвостохранилищ (рис. 3), емкостей для хранения ЖРО (рис. 4) и пунктов размещения особых ТРО (рис. 5) наглядно демонстрируют возможность использования значений КП для дифференциации по потенциальной опасности объектов, принадлежащих к одной категории, и, соответственно, обладающих похожими характеристиками.

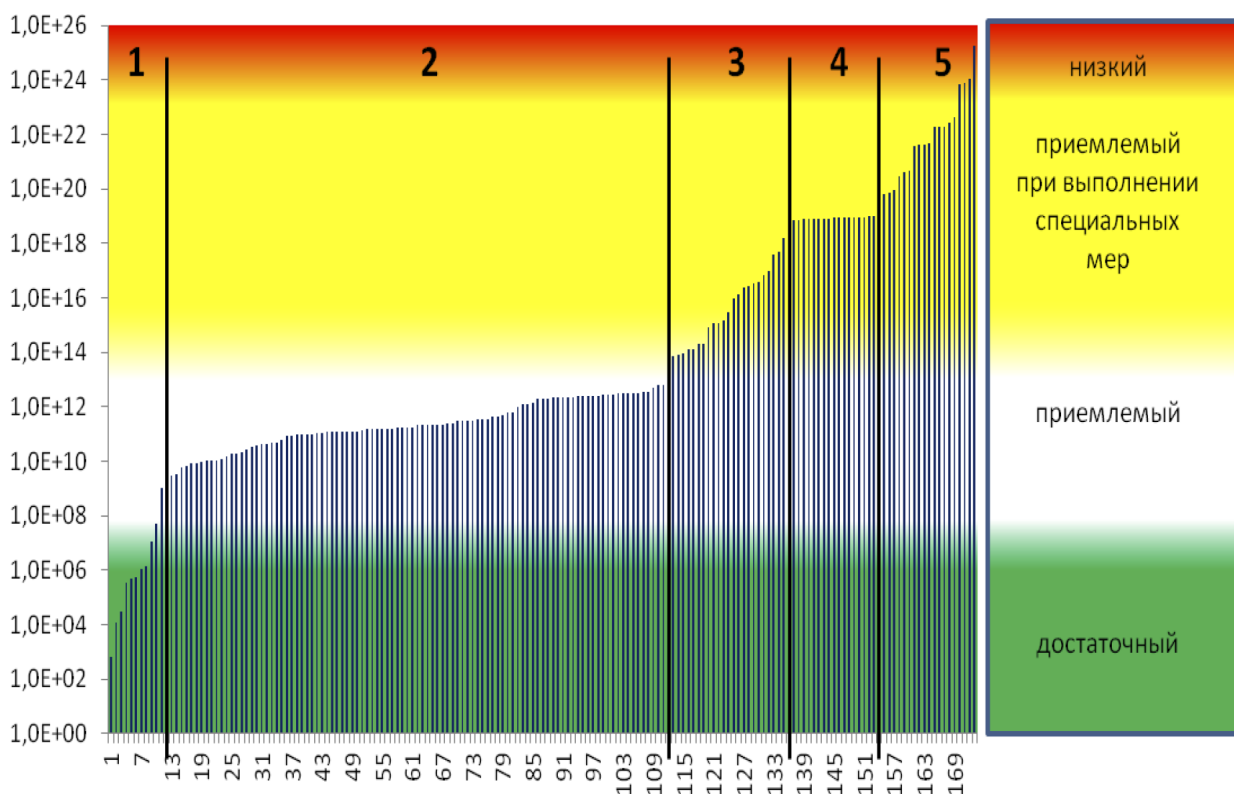


Рис. 2. Распределение значений КП для рассмотренных пунктов размещения и пунктов консервации особых РАО

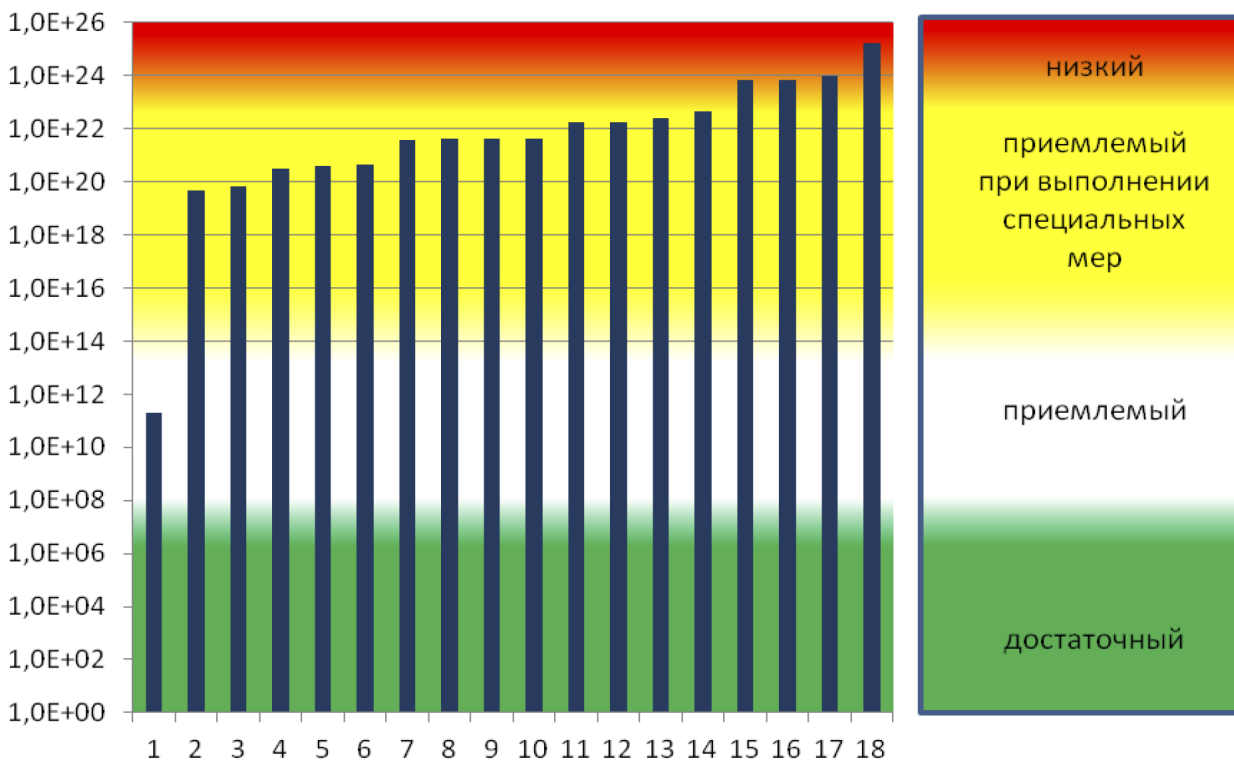


Рис. 3. Распределение значений КП для поверхностных промышленных водоемов-хранилищ ЖРО и хвостохранилищ

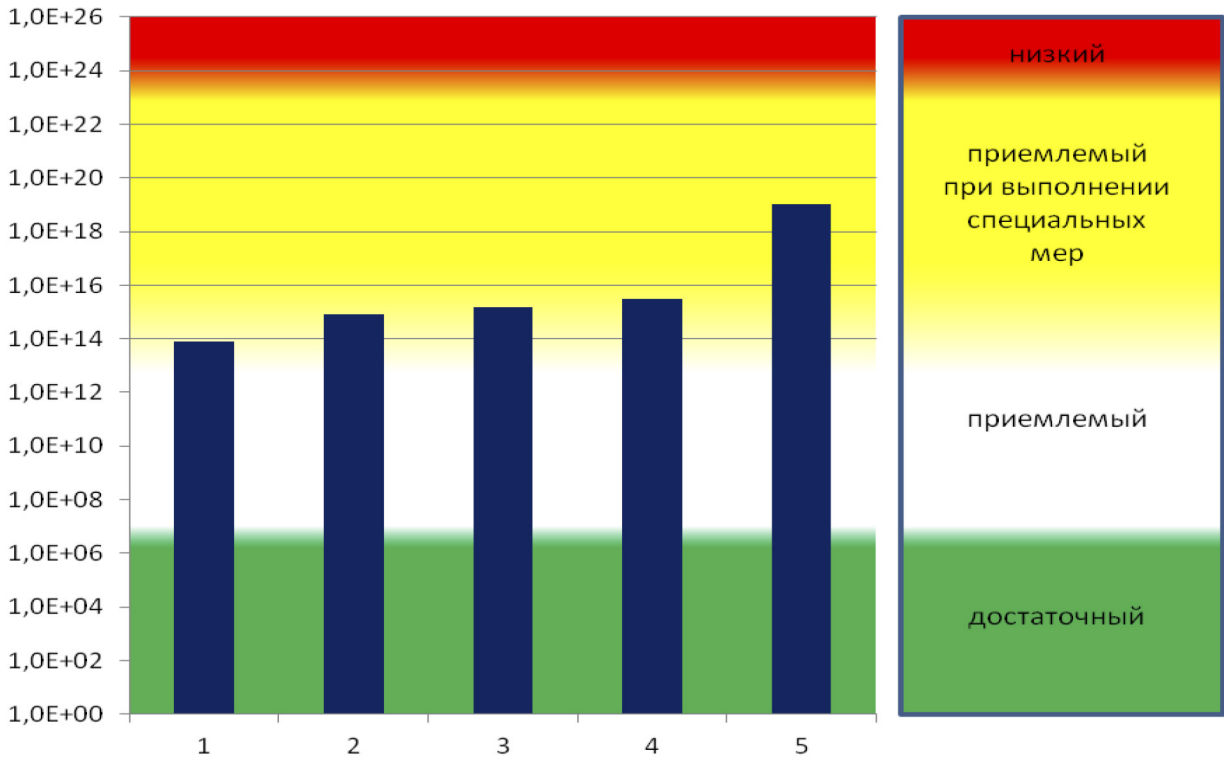


Рис. 4. Распределение значений КП для емкостей хранения ЖРО

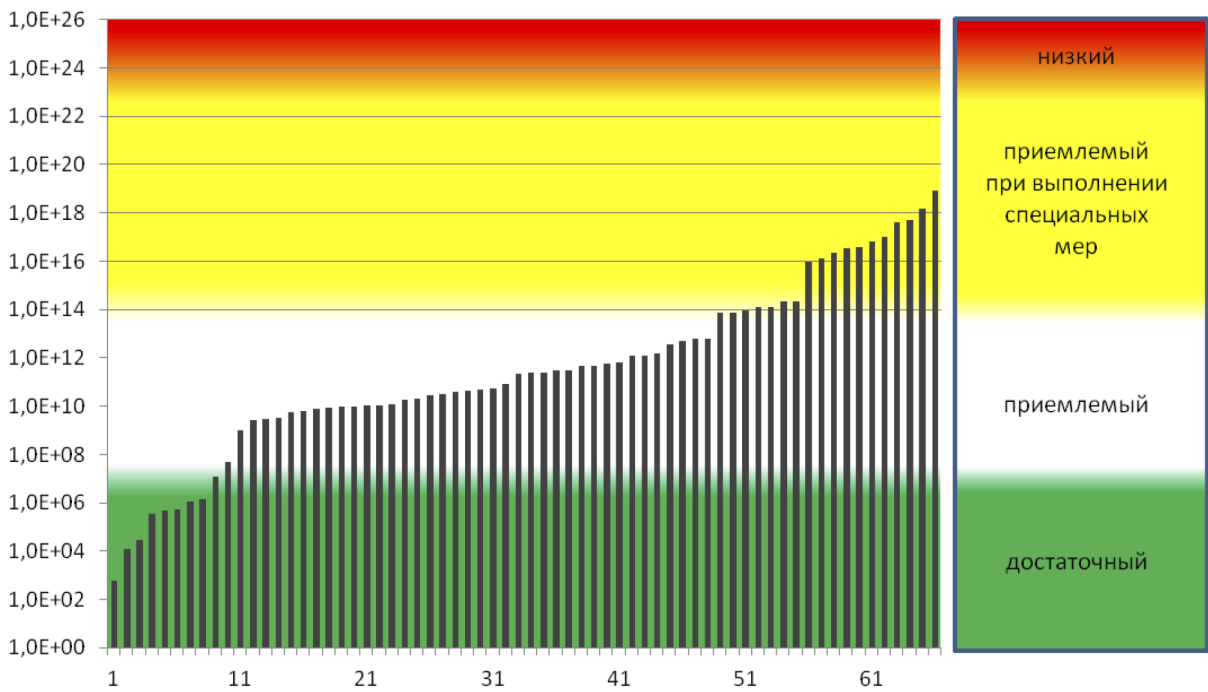


Рис. 5. Распределение значений КП для пунктов размещения особых ТРО

Кроме этого, как отмечено в [6], КП также позволяет отслеживать динамику изменения состояния объектов «ядерного наследия» как в сторону уменьшения их опасности вследствие выполняемых работ по выводу из эксплуатации и/или ликвидации, так и в обратную сторону за счет процессов деградации объектов.

В качестве наглядного примера на рис. 6 приведена временная зависимость КП корпуса 2 здания № 802 и корпуса 4 здания № 804 ОАО «АЭХК», входящих в состав сооруженной в марте 1954 г. ядерной установки электролизного (разделительного) завода. Производственный процесс в зданиях № 802 и № 804 был остановлен в 1987 и 1990 гг., соответственно, а с 1995 г. здания законсервированы с прекращением отопления и электроснабжения. Из рис. 6 видно, что без реализации каких-либо

Продемонстрированные в настоящей статье возможности КП позволяют использовать его в качестве одного из основных факторов риска для оценки степени риска объектов «ядерного наследия» и присвоения им соответствующей категории риска. Поскольку КП, как было показано выше, отражает динамику изменения потенциальной опасности объекта, он может быть использован в качестве фактора риска как в статической, так и в динамической модели оценки риска [14].

Вследствие того, что на объектах «ядерного наследия» активные технологические процессы не осуществляются и их состояние относительно стабильно, плановые контрольно-надзорные мероприятия, с учетом возможного наличия постоянного государственного надзора, не окажут значимого

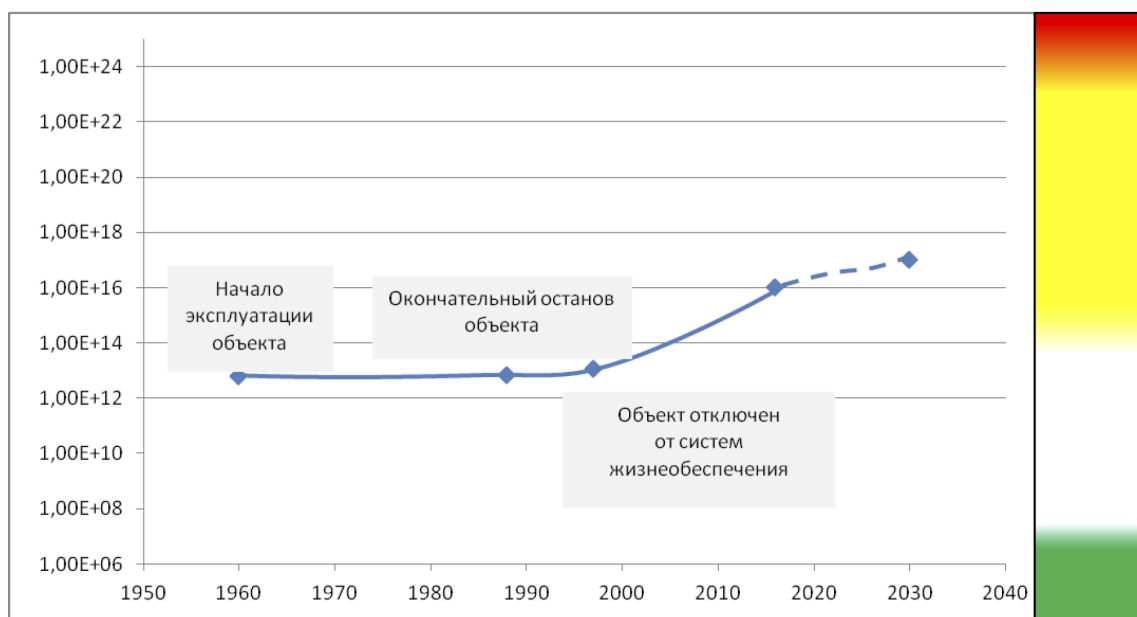


Рис. 6. Временная зависимость КП корпуса 2 здания № 802 и корпуса 4 здания № 804 ОАО «АЭХК»

мероприятий по повышению (поддержанию) безопасности потенциальная опасность данных объектов растет и будет расти в будущем.

С помощью КП можно оценивать динамику изменения (снижения) опасности после каждого мероприятия, оценивать их эффективность, что также важно с точки зрения оптимизации регулирующей деятельности в отношении этих объектов. В качестве иллюстрации на рис. 7 представлена динамика изменения КП в процессе реализации мероприятий ФЦП по выводу из эксплуатации исследовательской ядерной установки РБТ-10/1 (НИИАР).

влияния на потенциальную опасность [21]. В связи с этим предлагается использовать категории риска объектов «ядерного наследия» при планировании целевых инспекций. В качестве первоочередных объектов для проведения целевых инспекций наиболее целесообразно выбирать объекты, характеризующиеся большим значением КП. При прочих равных условиях в качестве приоритетных объектов для проведения инспекции следует выбирать объекты, деградирующие быстрее, то есть объекты, скорость увеличения комплексного показателя которых выше.

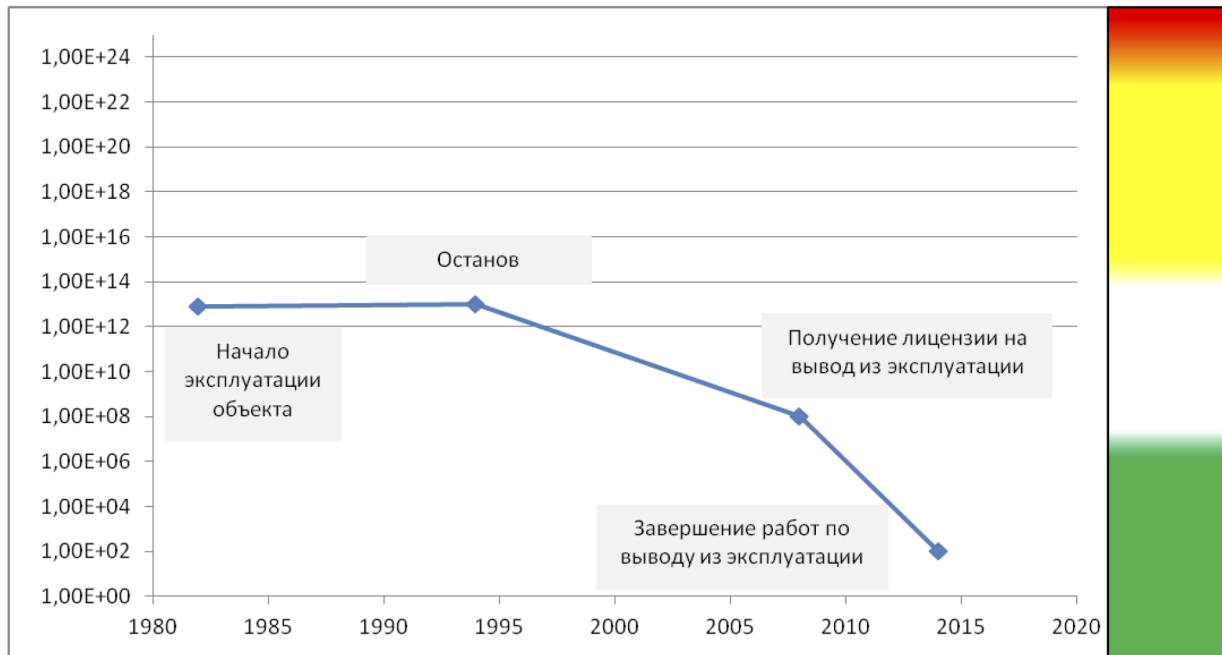


Рис. 7. Временная зависимость КП в процессе реализации мероприятий ФЦП по выводу из эксплуатации исследовательской ядерной установки РБТ-10/1 (НИИАР)

Список литературы

1. United States of America. Fifth National Report for the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management. U. S. Department of Energy, 2014.
2. Alvarez 2012. Robert Alvarez. Military Nuclear Wastes in the United States. Friends of the Earth US, December 1, 2012.
3. The «Radiological Hazard Potential» - Helping to make sense of cleaning up the UK's nuclear sites. Nuclear Decommissioning Authority. Engineering Directorate. EGR003. Rev 1. 13th June 2006.
4. The United Kingdom's fifth national report on compliance with the obligations of the Joint Convention on the safety of spent fuel management and the safety of radioactive waste management. Department of Energy and Climate Change, October, 2014.
5. Fifth National Report on Compliance with the Joint Convention Obligations of France. September, 2014.
6. Абрамов А.А., Дорофеев А.Н., Комаров Е.А., Кудрявцев Е.Г., Большов Л.А., Линге И.И., Абалкина И.Л., Бирюков Д.В., Ведерникова М.В., Хамаза А.А., Шарафутдинов Р.Б., Бочкарев В.В. К вопросу оценки объема ядерного наследия в атомной промышленности и на иных объектах мирного использования атомной энергии в России. Ядерная и радиационная безопасность, № 3(73), 2014.
7. Проблемы ядерного наследия и пути их решения. Вывод из эксплуатации. Под общей редакцией Большова Л.А., Крюкова О.В., Лаверова Н.П., Линге И.И. – М., Энергопроманистика, Т.3, 2015.
8. Проблемы ядерного наследия и пути их решения. Развитие системы обращения с радиоактивными отходами в России. Под общей редакцией Большова Л.А., Крюкова О.В., Лаверова Н.П., Линге И.И. – М., Энергопроманистика, Т.2, 2013.
9. Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федер. закон от 11 июля 2011 г. № 190-ФЗ.
10. Основы государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года (утверждены приказом Президента РФ 1 марта 2012 г. № Пр-539).
11. Governmental, Legal and Regulatory Framework for Safety. Series No. GSR Part 1, 2010.

12. Об использовании атомной энергии: Федер. закон от 21 ноября 1995 г. № 170-ФЗ.
13. О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля: Федер. закон от 26 декабря 2008 г. № 294-ФЗ.
14. Об основах государственного и муниципального контроля (надзора) в Российской Федерации: Проект Федер. закона [Электронный ресурс] // Федеральный портал проектов нормативных документов. URL: <http://regulation.gov.ru/projects#nra=19023> (дата обращения: 24.03.2016).
15. Гражданкин А.И. О риск-ориентированном подходе в обеспечении промышленной безопасности. Промислова безпека, № 5, 2012.
16. Гордон Б.Г. О развитии атомной энергетики с позиции ее безопасности. Ядерная и радиационная безопасность, №1(38), 2006.
17. Бакин Р.И., Бирюков Д.В., Илюшкин А.И., Линге И.И. и др. Ранжирование источников радиационного риска. Препринт ИБРАЭ РАН № IBRAE-2014-06. ИБРАЭ РАН, М., 2014.
18. Бакин Р. И., Бирюков Д. В., Илюшкин А. И., Киселев А. А., Ковальчук Д. В., Красноперов С. Н., Линге И. И., Савкин М. Н., Шишкин А. В. Ранжирование ядерно и радиационно опасных объектов по потенциальной опасности. Препринт ИБРАЭ РАН № IBRAE-2014-07. ИБРАЭ РАН, М., 2014.
19. Regulatory Assessment Performance Indicator Guideline. NEI 99-02 [Revision 7]. August 31, 2013. Nuclear Energy Institute, Washington D.C.
20. Canadian Nuclear Safety Commission Annual Report 2014–15. Regulating Nuclear Safety in Canada. Canadian Nuclear Safety Commission. Catalogue number: CC171E-PDF. ISSN: 1700-8042. © Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC), 2015.

