

7. Момот Г.В., Хрулев А.А., Шмелев В.П. и др. Влияние загрязнения топливом конструктивных элементов твэлов на герметичность твэлов ВТГР. — Вопросы атомной науки и техники. Сер. Атомно-водородная энергетика и техника, 1983, вып. 1(14), с. 22—27.

8. Козырев М.М., Момот Г.В., Хрулев А.А. Методика «слабого» облучения как средство технологической обработки МТ и твэлов на их основе. — Там же, Сер. Ядерное топливо и технология, 1990, вып. 6, с. 54—60.

Поступила в Редакцию 26.04.10

УДК 621.039.743 + 621.039.7...16

СТРАТЕГИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РАДИАЦИОННО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

Веселов Е.И. (МосНПО «Радон», г. Москва)

Настоящая работа посвящена разработке вариантов экологической безопасности радиационно опасных объектов.

Предлагаемая стратегия экологической безопасности хранилищ радиоактивных отходов базируется на концептуальном подходе, который предусматривает последовательное выполнение следующих этапов: экспертная и инструментальная оценка объекта, разработка технических и организационных решений экологической безопасности объекта, экономическая и экологическая оценка, экспертиза, согласование и одобрение решений контролирующими, регулирующими, государственными органами и населением, реализация разработанных предложений.

Стратегия экологической безопасности рассматривается на примере предприятия, длительное время занимавшегося переработкой уранового сырья. Для данного объекта выполнены экспертная и инструментальная оценки, разработаны варианты технических решений, проведены экономические и экологические оценки разработанных вариантов экологической безопасности объекта. Радиоактивные отходы производства размещены в непосредственной близости от населенного пункта. С запада и севера естественной границей территории расположения объекта является река, которая служит основной водной артерией района и источником хозяйственно-питьевого водоснабжения населенного пункта, расположенного ниже по течению реки. Хранилища отходов расположены в пределах поймы и первой надпойменной террасы.

При долговременном хранении радиоактивных отходов существенны геологические и гидрогеологические параметры территории размещения радиационно опасных объектов. Изуче-

ние геологического строения территории объекта позволило установить, что важное значение имеют четвертичные отложения и подстилающие их верхнепермские отложения татарского яруса (рис. 1). Четвертичные отложения представлены толщей аллювиальных песков с прослоями суглинков, перекрытых с поверхности грунтами почвенно-растительного слоя, местами торфом и в пределах хранилищ отходов насыпными грунтами. Мощность аллювиальных отложений колеблется от 10 до 16 м. Крупность песков, как правило, увеличивается сверху вниз.

Гидрогеологические условия территории характеризуются развитием грунтового водоносного горизонта, приуроченного к аллювиальным четвертичным отложениям. Горизонт преимущественно безнапорный, местами в верхней части толщи обладает местным напором до 1,5 м. В летнюю межень уровень грунтовых вод располагается на глубине 1,5—3,5 м, в болотистых понижениях приближается к днев-

Глубина подошвы слоя, м	Мощность слоя, м	Разрез	Описание пород
0,3	0,3		Почвенно-растительный слой
1,8	1,5		Суглинок тяжелый песчанистый туго-, мягкопластичный
8	6,2		Песок мелкий, насыщенный водой, с редкими включениями гравия и гальки изверженных пород
9	1		Песок средней крупности, насыщенный водой, с включениями гравия и гальки изверженных пород до 10%
13,6	4,6		Песчано-гравийно-галечный материал, насыщенный водой
14,1	0,5		Глина плотная красно-бурая с маломощными прослоями супеси

Р и с. 1. Схематическая геологическая колонка

ной поверхности. Поток грунтовых вод направлен с востока на запад, от мест расположения отходов в сторону реки, расположенной на расстоянии 2,5—3,5 км. Уклон уровня грунтовых вод составляет 0,002—0,0025 (2—2,5 м/км). Коэффициенты фильтрации аллювиальных песков изменяются от 0,7 до 25 м/сут, средневзвешенный коэффициент фильтрации по водоносному горизонту составляет ~12,5 м/сут. Радиационно опасные объекты расположены в песчаных породах, которые обводнены и характеризуются высокими фильтрационными параметрами.

Радиационно опасные объекты рассматриваемого предприятия по условиям хранения отходов можно разделить на три класса: хранилища приповерхностного типа, оборудованные бетонными инженерными барьерами, поверхностные хранилища, обвалованные глиной, шламохранилища.

Экспертный анализ позволил выявить подробную информацию о геологическом и гидрогеологическом строении территории размещения радиационно опасных объектов, конструкции и количестве отходов на момент строительства хранилищ. К сожалению, имеющиеся данные не позволяют оценить современное состояние массива отходов и инженерных барьеров объектов, распределение отходов в объеме сооружений и состояние вмещающих пород. Для сбора недостающих данных выполнена инструментальная оценка объекта с использованием комплекса полевых и лабораторных исследований по изучению состояния массива отходов и вмещающих пород, а также исследованию защитных свойств инженерных барьеров сооружений.

Изучение состояния массива отходов включало анализ их физико-механических, химических, радиометрических, радиохимических, фильтрационных свойств (состав и распределение радионуклидов в объеме хранилищ, выделение зон с наиболее опасными радионуклидами или высокой активностью отходов, определение остаточной активности в объектах и др.). Кроме того, определяли скорость и параметры выщелачивания различных радионуклидов из отходов. Исследования основаны на бурении разведочных скважин по массиву отходов, отборе проб жидкой и твердой фаз для лабораторных исследований, γ -каротаже скважин и лабораторных исследованиях отобранных проб.

Оценка защитных свойств инженерных барьеров хранилищ имела следующие цели: определение целостности, степени деградации и герметичности конструкции хранилища (выявление гидравлической связи объема хранилища с грунтами приконтурной зоны и определение параметров миграции радионуклидов из объема сооружения).

Изучение состояния вмещающих пород включало определение современных гидрогеологических условий приконтурной зоны хранилищ, анализ фильтрационных параметров вмещающих пород, исследование сорбционных свойств пород, оценку миграции радионуклидов, определение радиохимического состояния среды, прогноз развития миграции радионуклидов в окружающей среде. Исследования основаны на бурении разведочных скважин во вмещающих породах, гидрогеологических исследованиях грунтов, отборе проб жидкой и твердой фаз для лабораторных исследований. Для каждого хранилища разрабатывалась конкретная программа исследований.

Инструментальная оценка позволила установить, что массив в объеме хранилищ представлен разнородными некондиционированными отходами, радиоактивные отходы во всех сооружениях не включены в какой-либо матричный материал, в значительном объеме отходов радионуклиды находятся в химически растворенной форме, инженерные барьеры подверглись частичной деградации и в настоящее время не способны надежно локализовывать радионуклиды в объеме сооружений. Полученные результаты позволили разработать обоснованные технические и организационные предложения по повышению безопасности хранилищ.

Стадия разработки технических и организационных решений. Рассмотрены три варианта обеспечения экологической безопасности радиационно опасных объектов: полное удаление всех отходов, повторное кондиционирование и размещение в новом хранилище (вариант 1), выделение в массиве отходов или хранилищ, наиболее опасных для окружающей среды, их удаление, новое кондиционирование и размещение в новом хранилище (вариант 2), повышение экологической безопасности оставшихся объектов на месте исходного расположения. При этом рассматриваются два варианта: удаление 2 (вариант 2/1) и 15% отходов (вариант 2/2), создание экологически приемлемых условий для

длительной локализации отходов на месте их исходного размещения (вариант 3). Для экологической безопасности радиационно опасных объектов восстанавливаются защитные функции инженерных барьеров хранилищ и создаются дополнительные защитные экраны (рис. 2).

При рассмотрении вариантов принятия решения все хранилища сведены в одно гипотетическое сооружение общей площадью 60 тыс. м² и глубиной 5 м. Весь объем относится к средне- и низкоактивным отходам. Отходы не включены в какой-либо матричный материал. В настоящее время защитные функции выполняют конструкция хранилища и вмещающие породы.

Удаление и перемещение всего объема отходов в новое хранилище полностью ликвидирует опасность негативного воздействия на окружающую среду и население. При этом должны быть созданы новые инженерные барьеры из современных конструктивных материалов. Реализация варианта экологической безопасности всего объема отходов на месте исходного размещения минимизирует опасность их негативного воздействия на персонал, занятый на работах по обращению с ними. Варианты удаления наиболее опасной части отходов снизят негативное воздействие на персонал и окружающую среду, риск возникновения аварийных ситуаций при выполнении работ и социальное напряжение населения. С точки зрения экологической безопасности до момента определения экономических затрат предпочтителен вариант 2/2, позволяющий удалить 15% объема отходов

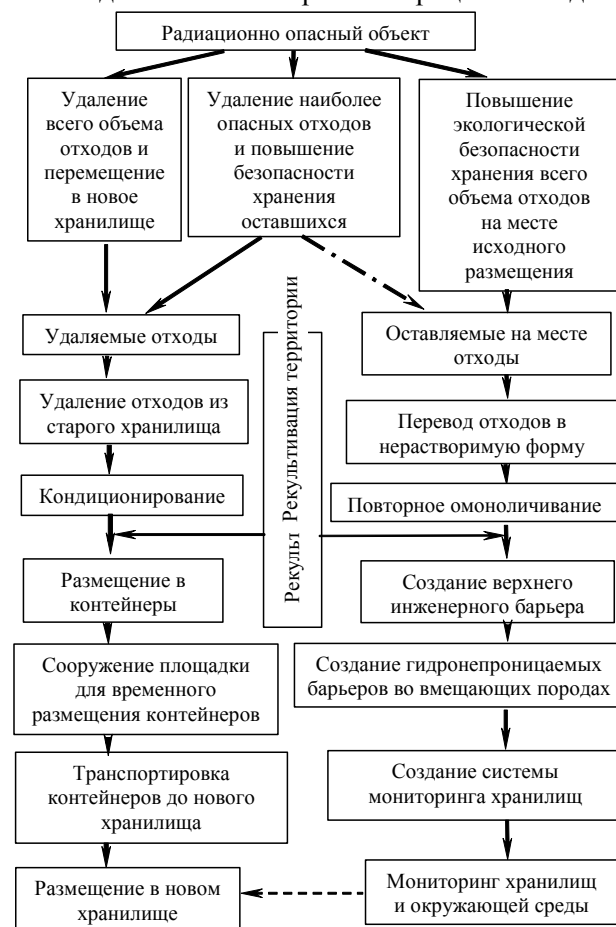


Р и с. 2. Распределение объема отходов при реализации рассматриваемых подходов

суммарной активностью 93% (рис. 3).

Повышение экологической безопасности отходов на месте исходного размещения. Инструментальная оценка объектов рассматриваемого предприятия показала, что часть отходов в настоящее время локализована в химической форме, которая позволяет перевести радионуклиды под воздействием слабых растворов кислот или даже воды в подвижное состояние. Для экологической безопасности оставляемой части отходов необходимо перевести радионуклиды в нерастворимые (или труднорастворимые) химические соединения, что проводится за счет взаимодействия исходных соединений с химическими компонентами. Затем весь массив отходов включают в матричный материал путем повторного омоноличивания [1, 2].

Данный способ предусматривает следующие операции: бурение и оборудование технологических скважин в хранилище отходов, приготовление и нагнетание тампонажного раствора в объем отходов, исследование эффективности создания матричного материала, при необходимости повторение процесса подачи



Р и с. 3. Алгоритм действий по экологической безопасности радиационно опасных объектов

тампонажного раствора (рис. 4).

Повторное омоноличивание предотвратит проникновение атмосферных осадков в объем хранилища и контакт воды с материалом матрицы и радионуклидами и, следовательно, процессы разрушения матрицы, обусловленные ее гидратацией и размывом, а также выщелачивания радионуклидов и гидравлического уноса мелких частиц [2].

Для предотвращения разрушающего воздействия на инженерные барьеры хранилища внешних природных факторов, в первую очередь циклов промерзание-оттаивание и атмосферных осадков на поверхности сооружения формируется верхний защитный экран [1, 2]. Вмещающие породы территории предприятия представлены обводненными песчаными породами, поэтому необходимо сооружение дополнительного защитного экрана — гидронепроницаемого барьера, защищающего сооружение от бокового подтопления грунтовыми водами. Барьер формируется бурением скважин и нагнетанием в объем песчаных пород тампонажного раствора, образующего гидронепроницаемую «стену».

После консервации хранилища формируется система мониторинга сооружения, что предусматривает бурение и оборудование сети скважин для периодического отбора проб воды и их радиометрических исследований. Мониторинг выполняется до окончательного вывода объекта



Р и с. 4. Технологические операции повторного омоноличивания массива отходов

из эксплуатации, когда локализованные в его объеме отходы перестанут представлять опасность для окружающей среды и населения.

Повышение экологической безопасности удаляемого объема отходов. Инструментальная оценка позволила установить, что массив отходов в объеме хранилищ не включен в прочный матричный материал. Отходы можно удалить механическим способом погрузочно-разгрузочными машинами и механизмами, например, экскаваторами, погрузчиками. Для удаления наиболее опасных отходов может быть применена автоматизированная или роботизированная техника [3, 4].

Удаленные из хранилищ отходы подвергают кондиционированию, которое включает их сортировку по виду, удельной активности, радионуклидному составу, снижение объема за счет дополнительной переработки или дезактивации, включение в матричный материал (цементный камень, стеклоподобную матрицу) и размещение в контейнерах (металлических бочках, железобетонных контейнерах типа НЗК и др.).

При кондиционировании отходов необходимо предусмотреть создание новых производственных площадей для выполнения указанных операций и временного размещения контейнеров. Способ транспортировки и затраты на ее выполнение зависят от типа перемещаемых контейнеров и расстояния до нового хранилища. Наиболее сложной и затратной операцией при обращении с удаляемой частью отходов является сооружение нового хранилища.

Изложенные технические решения экологической безопасности радиационно опасных объектов формируют основные направления обращения с удаляемыми и оставляемыми отходами. Предложенные подходы можно реализовать при выводе из эксплуатации различных радиационно опасных объектов.

Удаление и перемещение в новое хранилище всего объема отходов, накопленных при эксплуатации предприятия, устраним опасность негативного воздействия на окружающую среду и население в непосредственной близости от объекта за счет создания новых инженерных барьеров из современных конструктивных материалов. При этом варианте возрастает риск радиационного воздействия на персонал и возникновения аварийных ситуаций при удалении,

кондиционировании и транспортировке больших объемов отходов.

Реализация варианта экологической безопасности всего объема указанных отходов на месте исходного размещения минимизирует опасность негативного воздействия на персонал, занятый на работах по обращению с ними. Значительным недостатком варианта является то, что весь объем отходов остается в непосредственной близости от населенного пункта. Эта ситуация может вызвать социальное напряжение населения.

Удаление наиболее опасной части отходов снизит их негативное воздействие на персонал и окружающую среду, риск возникновения аварийных ситуаций при выполнении работ и социальное напряжение населения. С этой точки зрения до определения экономических затрат предпочтительнее реализация варианта, позволяющего удалить 15% объема отходов суммарной активностью 93%.

Для принятия окончательного решения необходимо провести экономическую и экологическую оценку рассматриваемых вариантов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Веселов Е.И., Прозоров Л.Б.** Обоснование оптимальной конструкции и толщины покрытия приповерхностного хранилища радиоактивных отходов. — Атомная энергия, 2008, т. 105, вып. 6, с. 325—334.
2. **Баринов А.С., Веселов Е.И., Прозоров Л.Б., Флит В.Ю.** Восстановление герметичности «исторических» хранилищ. — Безопасность окружающей среды, 2006, № 3, с. 38—40.
3. **Волков В.Г., Волкович А.Г., Иванов А.П. и др.** Ликвидация труднодоступного хранилища высокоактивных отходов РНЦ «Курчатовский институт». — Атомная энергия, 2008, т. 105, вып. 3, с. 164—169.
4. **Зверков Ю.А., Семенов С.Г., Шиша А.Д.** Основные принципы организации, выбор стратегии и технологий реабилитации радиационно загрязненных объектов. — Там же, 2009, т. 107, вып. 1, с. 46—54.

Поступила в Редакцию 02.07.10

Рефераты статей

УДК 621.039.514.001.2

Давиденко В.Д., Цибульский В.Ф. Моделирование изотопной кинетики методом Монте-Карло. — Атомная энергия, 2010, т. 109, вып. 4, с. 183—188.

В статье описан алгоритм прямого моделирования изотопной кинетики методом Монте-Карло. При расчете переноса нейтронов методом Монте-Карло для каждого нейтрона или их групп регистрируются ядерные реакции, в том числе приводящие к изменению изотопного состава (n, α), ($n, 2n$) и др. Одновременно с расчетом переноса нейтронов, исходя из числа регистрируемых взаимодействий и выделяющейся энергии, рассчитываются изменение концентрации нуклидов и время облучения. Представленные в статье результаты расчетов показывают принципиальную возможность такого подхода к задачам изотопной кинетики. Рис. 2, табл. 2, список лит. 5 назв.

УДК 621.039.562

Абрамов В.Д. Развитие концепции измерения реактивности как процедуры коррекции ее расчетных значений. — Атомная энергия, 2010, т. 109, вып. 4, с. 188—194.

Рассматривается концепция измерения реактивности как процедуры коррекции ее расчетных значений в эксперименте. Формулируются и обосновываются вытекающие из этой концепции новые одно- и многоточечные проце-

дуры коррекции реактивности, которые уточняют и развивают известные процедуры минимизации пространственных и прочих паразитных эффектов, препятствующих достоверному измерению реактивности. Список лит. 7 назв.

УДК 621.039

Бергельсон Б.Р., Белоногов В.В., Герасимов А.С., Тихомиров Г.В. Глубина выгорания ядерного топлива ВВЭР с разными поглотителями. — Атомная энергия, 2010, т. 109, вып. 4, с. 194—197.

Проведено расчетное исследование выгорания топлива ВВЭР-1000 при использовании разных поглотителей в условиях открытого и замкнутого топливных циклов. Показано, что смеси изотопов плутония (энергетического и др.) могут дать тот же эффект, что и гадолиний, который применяется в настоящее время. При этом увеличивается глубина выгорания топлива. При использовании изотопов нептуния, америция, кюрия в качестве выгорающего поглотителя в условиях замкнутого топливного цикла сопутствующим положительным эффектом является уничтожение долгоживущих α -излучающих радионуклидов, накапливающихся в долговременных хранилищах. Рис. 5, табл. 3, список лит. 4 назв.