

А.Э. Кокосадзе, С.А. Чесноков

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И КОНСТРУКТИВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ХРАНИЛИЩ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Рассмотрены требования к подземным хранилищам, высокоактивных отходов и, отработавшего ядерного топлива, проанализирована геологическая среда. и инженерные барьеры, изучены материалы барьеров, приведены рекомендуемые составы радиационностойких бетонов.

Ключевые слова: подземные хранилища, высокоактивные отходы, отработавшее ядерное топливо, геологическая среды, инженерные барьеры, материалы барьеров, рекомендуемые составы радиационностойких бетонов.

Семинар № 10

Проблема обращения с радиоактивными отходами (РАО) различной степени активности является одной из основных в заключительной стадии ядерно-топливного цикла. Решение её, к сожалению, до сих пор не найдено, отсутствуют хранилища особенно опасных высокоактивных отходов (ВАО) и отработавшего ядерного топлива (ОЯТ). Воздействие этих отходов на биосферу и человека особенно велико и не может быть переложено на плечи следующих поколений.

Согласно санитарным правилам обращения с радиоактивными отходами (СПОРО-2002) СП 2.6.6.1168-02 к высокоактивным отходам относят отходы с уровнем радиоактивности более 10 мГр/ч. Для высокоактивных отходов характерен уровень радиоактивного загрязнения част/см² мин по бета-излучающим радионуклидам – более $1 \cdot 10^7$, по альфа-излучающим радионуклидам, (включая трансурановые) – более $1 \cdot 10^5$, по трансурановым радионуклидам – более $1 \cdot 10^5$.

Ведущие специалисты ядерной отрасли и МАГАТЭ однозначно пришли к выводу, что единственно правильным решением этой проблемы является

использование подземного пространства в кристаллических породах глинах и соляных куполах для создания подземных хранилищ, работающих в течение сотен и тысяч лет [1, 2].

Объёмы ВАО и ОЯТ постоянно растут, по современным оценкам объём ОЯТ в мире достигают более 300 000 т, ежегодный прирост составляет порядка 32 000 т.

Общепризнано, что хранилище РАО должно строиться по принципу многоступенчатой защиты (барьеров), последним из которых является окружающий массив пород.

Исследования геологического характера последнего времени показали, что ранее считавшиеся пригодными массивы кристаллических пород не являются идеальной средой для хранилищ, т.к. обладают многочисленными трещинами и нарушениями, под воздействием радиационных и химических процессов в них происходит необратимое понижение их физико-механических и, особенно, изоляционных свойств.

Что касается глинистых пластов, то последние исследования показали, что даже под воздействием низкоактивных

радиоактивных отходов происходят необратимые процессы их разложение и они становятся непригодными для создания в них высоконадёжных подземных хранилищ. Соляные отложения по результатам некоторых исследователей, которые поддерживаются не всеми специалистами, имеют многочисленные микротрещины, в них происходят явления дилатансии, что не позволяет считать эти соляные купола надёжной средой для размещения подземных хранилищ. Таким образом, в современных условиях следует считать, что основным препятствием проникновения в биосферу РАО являются инженерные барьеры [3, 4].

В идеале многоступенчатый барьер, созданный по принципу «матрёшки» должен базироваться на положении, что выход из строя в силу каких-либо причин одного или нескольких барьеров, остальные должны обеспечить надёжную эксплуатацию системы в течение всего периода работы хранилища – сотни и тысячи лет.

Так для хранилища высокоактивных отходов и ОЯТ следует их сначала остекловать и затем поместить их в стальную оболочку, которая снаружи покрывается карбидом кремния как надёжной радиационной, химической и водонепроницаемой изоляцией. Далее эти оболочки помещаются в основной инженерный барьер, представляющей собой сталебетонную конструкцию, первый слой которой выполнен из химически стойкого бетона, далее следует замкнутая оболочка из нержавеющей стали и слой обычного бетона. За этим следует барьер в виде бентонита, который создаст радиационно и водонепроницаемую конструкцию. После этого вся конструкция помещается под землю в массив пород. Такая семибарьерная система должна обеспечить надёжную изоляцию РАО в течение всего периода эксплуатации хранилища.

К материалу барьеров предъявляются строгие требования прогноза неизменности или предсказуемого изменения свойств материалов, особенно в части их прочностных и изоляционных свойств. Так железобетон является материалом, который успешно используется в строительстве более 100 лет. Его свойства достаточно хорошо изучены и могут быть надёжно прогнозируемые для работы в течение длительного времени. Сталь успешно применяется человеком в течение многих сотен лет и её свойства могут быть также надёжно прогнозируемы. Конструкции стальной лист-железобетон успешно применяются в самых надёжных конструкциях строительства. Бентонит достаточно хорошо изучен и находит широкое применение в строительстве в качестве гидроизоляционного материала. Использование его в сочетании с порошкообразным свинцом должно создать надёжную радиационностойкую защиту. Такой материал должен быть испытан экспериментально для получения его строительных параметров. Карбид кремния считается надёжным радиационно и химически стойким материалом и широко применяется в промышленности. Таким образом, у строителей имеется достаточно широкий выбор материалов для создания инженерных барьеров, которые могут успешно работать в течение длительного времени [5].

Независимо от типов и выполняемых функций отдельные элементы системы инженерных барьеров на протяжении всего периода эксплуатации хранилища в течение сотен и тысяч лет должны [1]:

- исключить проникновение подземных вод в отходы;
- передавать тепло и рассеивать его в массиве вмещающих пород;
- препятствовать распространению деформаций и разрушению самих барьеров и горных пород под воздействием техногенных нагрузок;

- исключать распространение движения подземных вод и образующихся газов в пределах участка размещения отходов, задерживать выщелачивание из отходов;

- обеспечивать физическую защиту материала отверждённых отходов;

- обеспечивать заполнение свободного пространства между упаковками отходов и стенками камер захоронения с целью предотвращения разрушения и сдвижения пород в ближней зоне;

- обеспечивать размещение всех элементов хранилища в геологической толще с учётом требований к надёжности и безопасной изоляции отходов;

- обеспечивать изъятие отходов из мест их размещения в случае необходимости;

- обеспечивать противокоррозийные условия для пеналов с отходами;

- выполнять функции сорбирующего материала в случае повреждения пеналов в результате коррозии;

- обосновывать химическую безопасность отходов на концепции разумного риска;

- обеспечивать возможность создание в конструкциях барьеров систем мониторинга на протяжении всего периода эксплуатации хранилища;

- допускать при необходимости возможность усиления конструкций инженерных барьеров в случае повреждения каких-либо элементов барьеров.

Основной функцией материалов, содержащих отходы, является снижение во времени количества радиационной и химической активности до допустимых величин. Упаковки с отходами состоят из самих отходов, контейнеров, а в ряде случаев - из дополнительной упаковки, адсорбирующего материала и химических реагентов. Дополнительная упаковка делается для увеличения срока сохранения целостности материала отходов и замедления коррозии материалов па запланированный срок. В ряде случаев срок службы контейнеров и

упаковочных материалов планируется на срок более 1000 лет. Основная функция контейнеров и других упаковочных материалов – обеспечение изоляции содержащихся в них отходов на определённый длительный срок. Они являются также средством химической защиты во время технологических операций. При изоляции отходов на длительный срок особое внимание необходимо уделять коррозионным процессам и определять допуск на коррозию.

Наиболее важными характеристиками буферных материалов, из которых выполняются инженерные барьеры, являются:

- низкая проницаемость на протяжении всего периода работы хранилища;

- необходимая прочность;

- пластическая деформируемость;

- способность к набуханию для заполнения пространства между контейнерами и вмещающей породной средой:

- устойчивость к тепловым и радиационным воздействиям;

- высокая теплопроводность;

- неизменность всех закладываемых в проект свойств материалов на протяжении всего периода эксплуатации хранилища;

- возможность размещения в материалах элементов мониторинга, необходимого для наблюдением за свойствами материалов на протяжении всего периода эксплуатации хранилища;

- возможность улучшения свойств буферных материалов при необходимости в случае их повреждений в процессе эксплуатации элементов конструкции хранилища [1].

Буферными материалами обычно являются материалы с хорошо изученными свойствами, изменение которых во времени может быть достаточно надёжно прогнозируемо.

В ряде случаев целесообразно провести длительные исследования или каким-то образом смоделировать изменение

№ п/п	Наименование бетона с добавками	Расход составляющих, кг/м ³						
		окатыши	окалины	металлический песок (дробь)	микронаполнитель	портланд марки МПа	вода	технические добавки
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	С добавкой С-3	1200	1350		300	М40,0 450	220	С 3- 0,6 %Ц
2	С добавкой С-3 и ФС	1200	1400		200	М40,0 490	210	С 3- (0,6 %Ц) ФС
3	С добавкой С-3	1000	700	1500	300	М40,0 430	210	С 3- 0,6 %Ц
4	С добавкой С-3	900	700	1800	300	М40,0 420	205	С 3- 0,6 %Ц

Продолжение таблицы

В/Ц	Марка бетона по средней плотности, кг/м ³ прочности, МПа	Средняя плотность		Подвижность бетонной смеси	Предельная температура применения, °С
		бетонной смеси	бетона в 28 дневном возрасте		
10	11	12	13	14	15
0,49	3400 40	3650	3480	20-22	600
0,43	3400 50	3630	3460	20-22	600
0,49	4000 40	4160	4090	18-20	200
0,49	4200 40	4355	4280	18-20	200

ФС – ферросилициум (микрокремнезём).

этих свойств, обычно изоляционных, во времени, поскольку именно надёжность этих материалов является их важнейшим качеством. Основным буферным материалом является бетон, свойства которого хорошо известны и могут быть надёжно прогнозируемы в будущем, поскольку отходы по своим радиационным свойствам близки в материалу биологической защиты реакторов современных АЭС, представляется целесообразным рекомендовать для основного инженерного барьера подземных хранилищ именно радиационно-стойкие бетоны современных станций. Рекомендуемый для конструкций хранилищ радиационно-стойкий бетон достаточно хорошо изучен и успешно применяется в качестве биологической защиты реакторов на АЭС. Приведённые ниже составы могут быть использованы в конструкциях инженерных

барьеров хранилищ со следующими характеристиками [6].

Рекомендуемые технологические составы литых жаростойких особо тяжёлых бетонов с технологическими добавками для инженерных барьеров повышенной надёжности подземных хранилищ ВАО и ОЯТ.

Представленные составы бетоном обладают хорошей укладываемостью в подземные конструкции, не требуют виброуплотнения и в сочетании со стальной замкнутой оболочкой могут составить надёжный инженерный барьер многоступенчатой защите подземных хранилищ.

Таким образом, представленные материалы и конструкции инженерных барьеров позволяют создать надёжные подземные хранилища ВАО и ОЯТ, исключающие влияния опасных радионуклидов на биосферу и человека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шишиц И.Ю. Обеспечение экологической безопасности при изоляции промышленных и радиоактивных отходов. Изд-во «Горная книга». 2006. С.302.

2. Чесноков С.А., Фридкин В.М., Кокосадзе А.Э. и др. Геомеханические аспекты конструирования хранилищ высокоактивных отходов и отработавшего ядерного топлива в глубинных геотемных формациях с инженерными барьерами повышенной надёжности // Известия Тульского Государственного университета. Серия «Геомеханика. Механика подземных сооружений». Вып.4. - Тула: Изд-во ТулГУ. 2006. - 267 С. С.211-218.

3. Чесноков С.А., Фридкин В.М., Кокосадзе А.Э. и др. Новые возможности создания инженерных сооружений для обеспечения экологической и антитеррористической безопасности при промышленной утилизации некоторых видов технической продукции // Сб. Докладов на тематических научно-практических конференциях и круглых столах Международного научно-технического

конгресса по безопасности «Безопасность-основа устойчивого развития - регионов и мегаполисов». Россия. М., Октябрь-ноябрь 2006., С.57-61..

4. Кедровский О.Л., Чесноков С.А., Фридкин В.М. Инженерные барьеры повышенной надёжности для хранения отработавшего ядерного топлива в недрах Земли // Изд-во ВИНТИ РАН. Экологическая экспертиза. Вып.4 2005. С.70-95.

5. Кедровский О.Л., Чесноков С.А., Фридкин В.М., Кокосадзе А.Э. Горно-экологические и конструктивно-технологические аспекты создания международных хранилищ высокоактивных отходов и отработавшего ядерного топлива в недрах Земли // Подземное пространство мира. 2005. №6. С.3-8..

6. Поспелов В.П., Миренков А.Ф., Покровский С.Г. Бетоны радиационной защиты атомных электростанций. Изд-во «Август-Борг». 2006. С. 652. **ИВАС**

Коротко об авторах

Чесноков С.А. – консультант, ЗАО «Институт Оргэнергострой», Государственный эксперт-конструктор Москомэкспертизы,
Кокосадзе А.Э. — инженер, зам. генерального директора ЗАО «Институт Оргэнергострой», член Ядерного общества России, e-mail: post@ioes.ru