

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ХРАНИЛИЩ С ВЕРТИКАЛЬНЫМ РАЗМЕЩЕНИЕМ РАО*

Студ. Зайцев И.В., ДонНТУ, г. Донецк

Представлено перспективы использования хранилищ радиоактивных отходов в вертикальных скважинах. Показаны технико-экономические обоснования данного способа.

Ключевые слова: Радиоактивные отходы, способы захоронения, хранилища, типы захоронения.

Долговременное хранение или захоронение радиоактивных отходов в сооружениях скважинного типа значительно повышает эффективность использования отведённой территории, снижает затраты и сроки ввода в эксплуатацию хранилищ, позволяет полностью автоматизировать процесс обращения с радиоактивными отходами и радиационный мониторинг в течение всего жизненного цикла объектов.

Проект объекта захоронения средне- и высокоактивных отходов В 1970-х годах ПО «Маяк» совместно с ОАО «ВНИПИПромтехнологии» разработали предложение о захоронении остеклованных высокоактивных отходов в долговременном хранилище с вертикальным размещением отходов (ВРО).

К этому времени в Министерстве среднего машиностроения СССР накопился опыт проходки скважин большого диаметра (СБД) до глубины более 1000 м. При этом в устье диаметр скважин достигал 1440 мм, в конце – 860 мм.

С использованием опыта бурения СБД были разработаны основные технические решения по использованию таких скважин для захоронения ВАО. Для их реализации на одной из заводских площадок ПО «Маяк» было пробурено 10 скважин, три из которых пройдены до глубины 800-1200 м.

По всем скважинам выполнялся комплекс геологических, гидрогеологических и геофизических исследований, что позволило получить объективную характеристику состояния толщи скальных пород до глубины 1200 м. В частности, по глубине массива пород были выделены три зоны.

Верхняя (до глубины 60-80 м) характеризовалась высокой степенью трещиноватости, значениями коэффициента фильтрации (K_f) в диапазоне 1-50 м/сут и режимом активного водообмена. Ниже до глубины 200-250 м породам присуща низкая проницаемость, значения K_f в пределах 0,01-0,1 м/сут и замедленный водообмен. Еще ниже расположен массив монолитных пород, в котором изредка встречаются маломощные зоны трещиноватости; значения K_f этой толщи меньше 0,001 м/сут, водообмен – застойный.

На стадии предпроектных разработок в качестве рабочей зоны хранилища с учётом свойств скального массива был принят интервал 400-800 м, где диаметр скважины составлял бы 860 мм (рис. 1).

Остеклованные отходы предполагалось разместить в бидонах, а зазоры между бидонами и стенкой скважины заполнить порошком бентонитовой глины. Предельная удельная активность ВАО определялась по данным теплотехнических расчётов с учётом потенциально возможных процессов миграции радионуклидов во вмещающие породы.

Реализации проекта по созданию хранилища ВАО в ПО «Маяк» помешала начавшаяся в стране перестройка.

* Работа выполнена под руководством проф. Лысикова Б.А. ДонНТУ

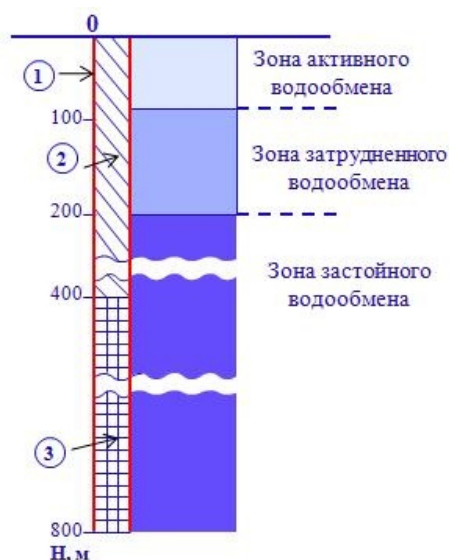


Рис. 1. - Схематическая конструкция долговременного хранилища высокоактивных отходов в скважине большого диаметра: 1 – скважина; 2 – забивка из бетонитовой глины; 3 – высокоактивные отходы

ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ХРАНИЛИЩ САО

Идея размещения РАО в вертикальных шахтных стволах диаметром 9 м и глубиной до 100 м, пройденных в многолетнемерзлых породах, была успешно реализована специалистами ОАО «ВНИПИпромтехнологии» в 2004 году в рамках проекта создания опытно-промышленного объекта захоронения НАО и САО на архипелаге Новая Земля.

Также по проекту ОАО «ВНИПИпромтехнологии» в Научно-производственном комплексе ГУП МосНПО «Радон» в 2000 году были сооружены два долговременных хранилища типа СБД. Они представляют собой скважины глубиной по 40 м и диаметром 2 м, пройденные в толще моренных суглинков, обладающих низкой проницаемостью и высокими сорбционными свойствами и обсаженные металлическими трубами диаметром 1,5 м с толщиной стенок 12-18 мм (рис. 2).

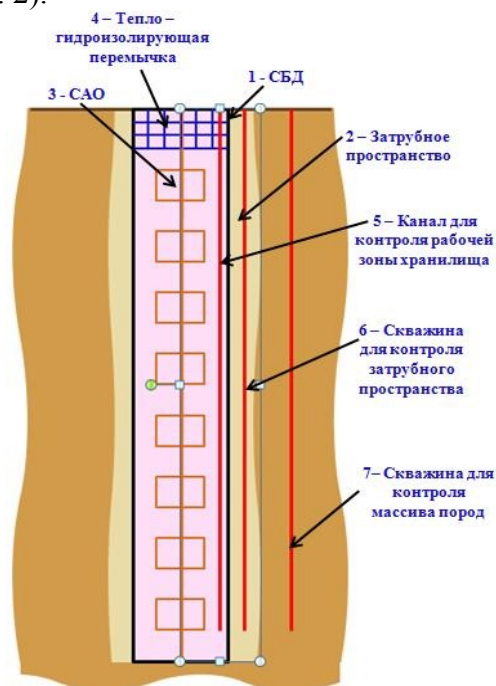


Рис. 2 - Конструкция хранилища типа СБД для среднеактивных РАО (НПК ГУП МосНПО «Радон»)

Затрубное пространство скважин затампонировано бентонито-цементным составом. Для изучения функциональных свойств данной конструкции в условиях реальной эксплуатации в СБД реализовано временное контролируемое хранение кондиционированных РАО средней активности.

В одном из хранилищ размещено 36 бочек САО объёмом 200 л каждая, в другом – 90 бочек.

Для создания в рабочих зонах хранилищ поля постоянных температур и предотвращения поступления в них атмосферных осадков устья скважин оборудованы тепло- и гидроизолирующей перемышкой.

Оба хранилища оснащены системой периодического контроля состояния их рабочих зон, затрубного пространства и массива вмещающих пород. В рабочей зоне фиксируются распределение температуры по глубине, мощность экспозиционной дозы (МЭД), влажность и появление воды. В затрубном пространстве – уровень грунтовых вод, их химический и радионуклидный состав, распределение по глубине МЭД и температуры. Те же параметры контролируются в наблюдательных скважинах, пробуренных рядом в массиве вмещающих пород.

Проектом предусмотрено проведение опытно-промышленных испытаний хранилищ типа СБД в течение 30 лет. По истечению этого срока должно быть принято решение о дальнейшей их судьбе. При отрицательных результатах испытаний (например, нарушении герметичности) предусмотрено извлечение РАО с последующим размещением в региональном долговременном хранилище, при положительных – омоноличивание отходов в скважинах и придание им статуса объектов захоронения.

Почти десятилетний период опытно-промышленных испытаний хранилищ типа СБД позволяет сделать следующие выводы:

- хранилищам присуща полная гидравлическая герметичность;
- в течение всего года рабочая зона хранилищ находится в поле положительных температур, что исключает разрушение омоноличенных РАО под действием процессов замерзания и оттаивания;
- за пределами хранилищ не обнаружено изменений в химическом и радионуклидном составе грунтовых вод.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА СБД

Результаты опытно-промышленных испытаний скважин позволяют провести сравнительный анализ технико-экономических показателей СБД и традиционных приповерхностных хранилищ траншейного типа. В качестве базовых вариантов принято хранилище приповерхностного типа объёмом 5000 м³, а также СБД глубиной 50 м и диаметром от 1,5 м до 12 м (скважины диаметром более 4 м отнесены к вертикальным шахтным стволам).

Технико-экономический анализ проведён по двум параметрам – эффективности использования территории полигонов хранения РАО и удельным затратам на 1 м³ хранилища – в относительных единицах (показатель хранилища приповерхностного типа равен 1).

Полученные результаты представлены в таблице и на рисунках 3 и 4.

Таблица 1 - Результаты сравнительного технико-экономического анализа

Показатель	Хранилища с вертикальным размещением РАО					Приповерхностные хранилища
	Скважины большого диаметра, d, m			Шахтные стволы, d, m		
	1,5	2,0	3,0	10	12	
Эффективность использования 1 м ² полигона, отн. ед.	2,5	3,7	4,4	4,8	5,8	1
Стоимость 1 м ³ долговременного хранилища, отн. ед.	5,3	3,8	3,0	0,7	0,5	1

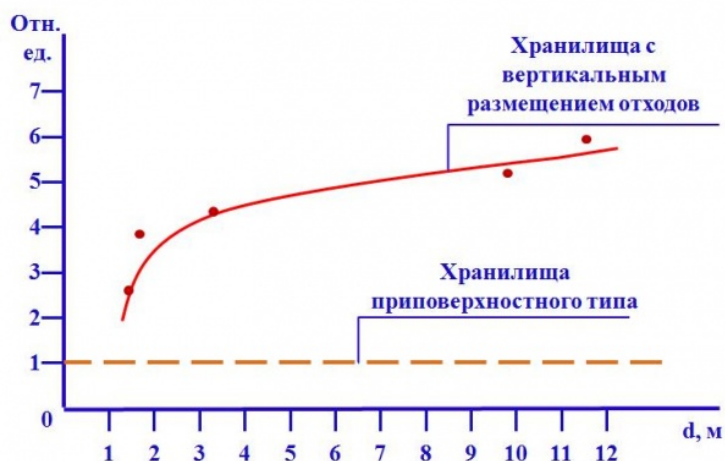


Рис. 3 - Зависимость эффективности использования 1 м² полигона СБД от диаметра ствола (в относительных единицах)

В настоящее время большое значение приобретает повышение эффективности использования существующих полигонов длительного хранения РАО, так как выделение новых территорий для хранения/захоронения отходов сильно затруднено. Согласно данным таблицы и рисунка 3, применение долговременных хранилищ типа СБД диаметром 1,5 м позволяет в 2,5 раза эффективнее использовать площадь полигона по сравнению с применением хранилищ приповерхностного типа. Увеличение диаметра вертикальных выработок до 10-12 м (шахтные стволы) повышает эффективность использования территории в 5-6 раз.

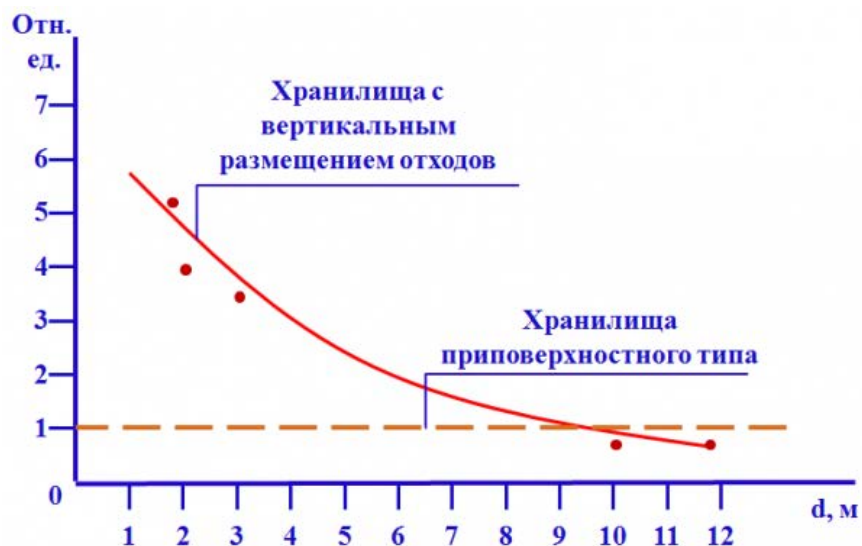


Рис. 4 - Зависимость относительных затрат на сооружение 1 м³ СБД от диаметра ствола (в относительных единицах)

Согласно данным таблицы, стоимость 1 м³ хранилища типа СБД диаметром 1,5 м в 5-6 раз превышает стоимость 1 м³ хранилища приповерхностного типа. С увеличением диаметра вертикальных выработок затраты на 1 м³ долговременного хранилища снижаются. Так, при диаметре шахтного ствола 9-10 м затраты на его сооружение соответствуют стоимости хранилища приповерхностного типа. Для шахтного ствола диаметром 12 м стоимость 1 м³ СБД вдвое ниже, чем хранилища траншейного типа.

Данные, приведённые в таблице, не претендуют на высокую точность, однако они показывают тенденции изменения анализируемых параметров. В целом, проведённый сравнительный анализ технико-экономических показателей позволяет сделать вывод, что применение долговременных хранилищ с вертикальным размещением РАО многократно повышает эффективность использования площади полигона. А при диаметре шахтных стволов более 10 м их сооружение обойдётся дешевле, чем хранилищ приповерхностного типа.

Ещё одним важным достоинством способа создания объектов для окончательной изоляции РАО с использованием шахтных стволов является то, что он позволяет использовать наиболее устойчивые и приемлемые для этих целей горизонты горных пород, вне зависимости от глубины их залегания, присутствующие в строении каждого конкретного участка. В свою очередь, это существенно увеличивает число площадок, пригодных для размещения объектов захоронения, и снижает стоимость постэксплуатационного обслуживания объектов.

Технология проходки шахтных стволов обрабатывалась веками, и к настоящему времени разработаны способы их строительства практически в любых условиях. Достаточно сказать, что только в Москве и Санкт-Петербурге метростроевцами пройдены сотни вертикальных и наклонных шахтных стволов. Первые пройденные в Москве шахтные стволы находятся в эксплуатации почти 80 лет. В течение этого срока они сохранили свою герметичность и устойчивость крепи.

Кроме того, применение данной технологии позволяет осуществлять последовательное строительство отдельных сооружений в зависимости от темпа поступления отходов. При этом на одной площадке может осуществляться эксплуатация уже созданных объектов и строительство новых, что позволит наиболее рационально использовать инвестиционные средства и значительно сократить сроки ввода в эксплуатацию объектов захоронения РАО. В настоящее время, в связи с принятием закона №190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской

Федерации» и созданием Единой государственной системы обращения с РАО, этот фактор приобретает особое значение.

Использование шахтных стволов в качестве долговременных хранилищ позволит реализовать технологию полностью автоматизированного обращения с РАО на всех этапах – от их разгрузки со средств доставки до размещения в хранилище.

ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ ШАХТНОГО СТВОЛА

Основные этапы жизненного цикла вертикального хранилища типа шахтного ствола приведены на рисунке 5.

В процессе проходки шахтный ствол (рис. 5, а) оснащается герметичной крепью. На участках водопроявления ствол оборудуется усиленной крепью для повышения коррозионной стойкости и защиты от повышенного горного давления. Размещение отходов в стволе проводится послойно (рис. 5, б-1). При этом кондиционированные РАО могут помещаться в различных металлических контейнерах, а также в пластиковых упаковках.

При эксплуатации в качестве объектов захоронения, осуществляется заполнение шахтного ствола отходами с последовательным омоноличиванием. Уложенный слой отходов омоноличивается твердеющим тампонажным раствором (рис. 5, б-2), подача которого осуществляется по заранее установленному трубопроводу. После отверждения нижнего слоя на него укладывается следующий слой РАО (рис. 5, б-3), который также омоноличивается.

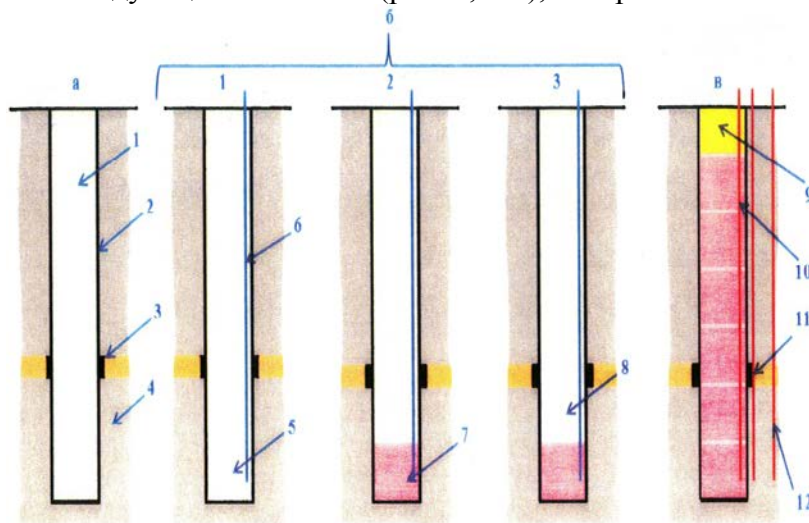


Рис. 5 - Стадии сооружения объекта для окончательной изоляции РАО в шахтном стволе (а – сооружение ствола; б – размещение отходов; в – постэксплуатационный период):

1 – ствол; 2 – крепь; 3 – усиленная крепь; 4 – массив вмещающих пород; 5 – размещение первого слоя РАО; 6 – трубопровод для подачи тампонажного раствора; 7 – омоноличивание первого слоя; 8 – размещение второго слоя РАО; 9 – тепло- и гидроизолирующая перемычка; 10 – канал для контроля состояния отходов в хранилище; 11 – скважина для контроля состояния приконтурной зоны хранилища; 12 – скважина для контроля состояния массива вмещающих пород)

По завершении размещения отходов в рабочей зоне хранилища обустраивается канал для контроля состояния омоноличенной толщи РАО (рис. 5, в). Устье могильника оснащается тепло- и гидроизолирующей перемычкой, которая предотвращает поступление в хранилище атмосферных вод и обеспечивает поле положительных температур в толще отходов.

ВЫВОД

В течение всего постэксплуатационного периода возможно применение автоматизированной системы мониторинга. По глубине толщи размещённых отходов должны контролироваться параметры температуры, МЭД и возможное появление воды. В

закрепном пространстве ствола и массиве вмещающих пород располагаются наблюдательные скважины, по которым в этих зонах так же должны контролироваться параметры температуры, МЭД, водопроявления, а при проникновении подземных вод – их химический и радионуклидный состав. Таким образом, сооружение хранилищ с вертикальным размещением радиоактивных отходов позволит реализовать принципы «зелёной лужайки» полигона захоронения РАО.

Библиографический список

1. Российское атомное сообщество - [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.atomic-energy.ru/>
УДК 625.24