

СБД: БЕЗОПАСНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ И НАДЕЖНОЕ ЗАХОРОНЕНИЕ

SAFE OPERATION AND RELIABLE DISPOSAL OF LARGE-BORE WELLS

Ю.В. ЛИТИНСКИЙ, к.т.н.,
А.В. ТКАЧЕНКО, к.т.н.
(ГУП МосНПО «Радон»)



Y.V. LITINSKY, Candidate of Technical Science,
A.V. TKACHENKO, Candidate of Technical
Science (SUE Radon Moscow)

■ С учетом новых более жестких требований к безопасности объектов изоляции РАО разработан принципиально новый тип хранилища высокой геологической надежности – вертикальная скважина большого диаметра (СБД). При консервации скважин состав буферного материала, которым заполняются внутренние пустоты, может быть подобран так, чтобы в сочетании с другими инженерными барьерами полностью исключить миграцию радионуклидов за пределы хранилища в течение времени, необходимого для снижения активности до безопасного уровня.

Одним из основных преимуществ таких хранилищ является развитие по вертикали, в основном, в подземном пространстве, что позволяет более эффективно использовать площадь поверхности полигонов для хранения и захоронения РАО. Коэффициент использования поверхности (отношение площади поверхности, занимаемой хранилищем, к объему размещаемых в нем РАО) в зависимости от диаметра скважины увеличивается в 2,5-4 раза.

На Сергиево-Посадском полигоне ГУП МосНПО «Радон» сооружены две скважины внутренним диаметром 1,5 м и глубиной 40 м с целью оценить в промышленных условиях надежность хранения РАО, герметичность сооружения, состояние отходов и контейнеров (бочек), работоспособность и надежность системы георадиомониторинга.

В октябре 2003 года хранилище СБД-2 было загружено цементированными РАО низкой и средней активности, размещенными в 36 стандартных металлических бочках емкостью 200 л, с суммарной активностью $3,74 \cdot 10^7$ Бк. В мае 2006 года в хранилище СБД-1 загружено 90 бочек с такими же РАО с суммарной активностью $3,43 \cdot 10^{11}$ Бк.

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Высокая экологическая безопасность хранилищ скважинного типа базируется на принципе многобарьерности, исключая (или предельно ограничивающим) миграцию радионуклидов в окружающую среду.

С учетом того, что СБД располагаются в глинистых моренных отложениях с низкими фильтрационными характеристиками, вмещающий массив горных пород является естественным защитным барьером – основным в многобарьерной системе защиты.

При бурении скважин одновременно создаются основные инженерные барьеры:

– глинистая корка на стенках скважины, образующаяся в процессе циркуляции бурового раствора (как прави-

■ Considering the new, stricter requirements to safety of radwaste disposal sites, a brand new type of repository has been developed that offers a high level of geocological reliability – vertical large-bore wells (LBWs). When such a well is backfilled for conservation, the composition of the buffer void-filling material may be so chosen as to make sure that in combination with other engineered barriers it will completely exclude any migration of radionuclides to outside the repository over the entire duration of time that is required for the radioactivity of the stored material to decrease to a safe level.

One of the key advantages of such repositories is that they are developed vertically downwards, primarily underground, meaning that the site area is used more efficiently for storage and disposal of radwaste. The surface area usage factor (relation of surface area occupied by the repository to the amount of radwaste contained), depending on borehole diameter, is increased by a factor of 2.5-4.

At the Sergiev-Posad waste storage site operated by Radon Moscow, two wells have been built with inner diameter 1.5 m and depth 40 m with the objective of making an industrial-scale assessment of reliability of this method of radwaste storage, leaktightness of the structure, status of the contained waste and containers (drums), operability and reliability of the georadiomonitoring system.

In October 2003, the LBW-2 repository was loaded with cemented low and intermediate-level radwaste, packaged into 36 standard metallic 200-litre drums, with total radioactivity $3.74 \cdot 10^7$ Bq. In May 2006, the LBW-1 repository was loaded with 90 drums with the same types of radwaste with total radioactivity $3.43 \cdot 10^{11}$ Bq.

GEOECOLOGICAL SAFETY

The high level of environmental safety provided by a well-type repository is based upon the principle of multiple barriers that preclude (or limit to the maximum extent possible) the migration of radionuclides into the environment.

Considering that the LBWs are located within clayey morainic deposits with low filtration properties, the mass of host rock acts as a natural protection barrier – the key one in this multi-barrier protection system.

When the well is drilled, several main barriers are created at the same time:

– clayey crust on the walls of the well, which forms as a consequence of drilling mud circulation (normally, it possesses good waterproofing and sorption properties);

ло, она обладает хорошими гидроизолирующими и сорбционными свойствами);

- стальная обсадная колонна, которая является несущим элементом и одновременно изолирует внутреннее пространство хранилища от окружающего горного массива;
- затрубная цементация (заполнение зазора между обсадной колонной и стенкой скважины бентонито-цементным раствором).

Кроме того, инженерным барьером является цементная матрица, вмещающая РАО, и стенки контейнера. Совокупность перечисленных выше барьеров создает очень надежную глубоко эшелонированную защиту окружающей природной среды.

В устьях скважин СБД-1 и СБД-2 после их загрузки ниже зоны промерзания (около 2,5 м) были установлены теплоизолирующие пробки, после чего уже через пять-семь суток в хранилищах установился особый микроклимат, характеризующийся отсутствием отрицательных температур независимо от температуры на поверхности. Минимальная температура в хранилище СБД-2 под пробкой (+2°C) за все время наблюдений была зафиксирована в феврале 2006 года при длительной отрицательной температуре воздуха на поверхности (-32°C). В этих условиях цементные матрицы, вмещающие РАО, не подвергаются разрушению под воздействием знакопеременных температурных нагрузок, сохраняя защитные свойства.

Не выявлено устойчивых существенных различий в показателях влажности воздуха внутри скважин-хранилищ и на поверхности.

В хранилищах отсутствует вода, что свидетельствует о герметичности обсадных колонн [1]. Экспресс-анализ скорости коррозии обсадной колонны СБД-2 на образцах, размещенных на разных глубинах в 2002 году и извлеченных для исследования в 2010 году, показал, что срок службы обсадной колонны без потери герметичности и несущей способности может составить около 90 лет.

Замеры по всей глубине хранилища в наблюдательных каналах, расположенных вплотную к наружной поверхности обсадной трубы СБД-2, показали, что дозы γ -излучения не превышают фоновых значений.

Таким образом, анализ конструктивных особенностей скважин-хранилищ, многобарьерной системы защиты и автоматизированной системы георадиомониторинга позволяет оценить эти сооружения как высоконадежные и безопасные для окружающей среды, отвечающие современным рекомендациям МАГАТЭ.

КОНСЕРВАЦИЯ

Жизненный цикл скважин-могильников делится на несколько периодов:

- эксплуатационный (от начала строительства до окончания загрузки РАО в полном объеме);
- постэксплуатационный (упаковки РАО содержатся в режиме хранения для исследования процесса естественного изменения защитных свойств барьеров и подтверждения проектных критериев безопасности);
- консервация.

Последний период включает вывод из эксплуатации системы георадиомониторинга и поддерживающих ее систем, удаление временных элементов, использовавшихся на этапе загрузки и в постэксплуатационном периоде, вве-

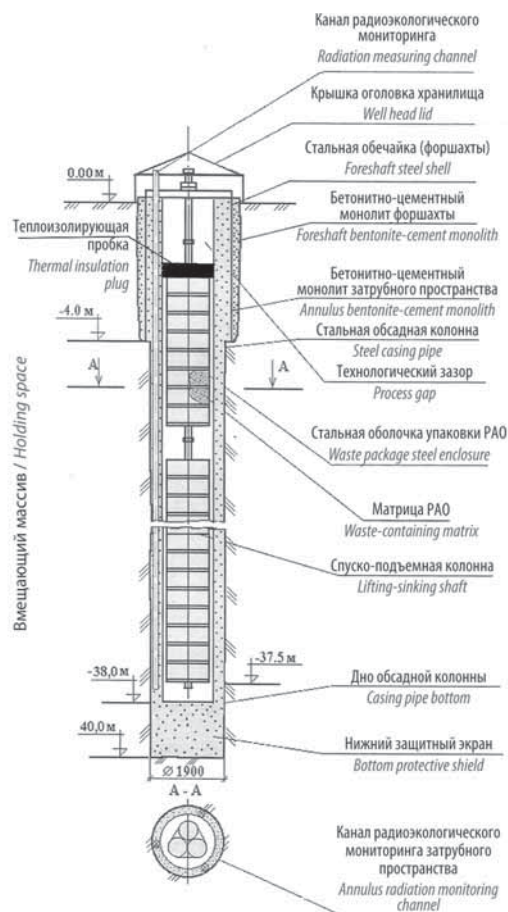


Рис. 1. Могилиник СБД в постэксплуатационном периоде (после завершения загрузки РАО в полном объеме) / Fig. 1. LBW repository well as appearing after completion of radwaste loading

- steel casing pipe, which acts as a supporting structure and at the same time isolates the internal space of the repository from the surrounding mass of rock;

- annulus cementation (the gap between the casing pipe and the well wall, backfilled with a bentonite-cement solution).

An additional engineered barrier is provided by the cement matrix that contains the radwaste, and the container walls. These barriers provide a very reliable in-depth protection of the environment.

The mouths of the LBW-1 and LBW-2 wells, after their loading to below the line of freezing (approximately 2.5 m), were sealed with heat-insulating plugs; within five to seven days thereafter the repositories were found to have a specific set of microclimate conditions, characteristic of which were positive temperatures regardless of temperatures on the ground. The lowest level of temperature below the plug in the LBW-2 repository (+2°C) over the entire period of observations was recorded in February 2006, when the above-ground air temperature had been well below zero (-32°C) for an extended period of time. Under those conditions, the cement matrices that contain the radwaste do not undergo any deterioration under the effect of alternating-sign temperature loads, maintaining their protective properties.

There have been no persistent significant differences recorded between the levels of air humidity inside the repository well and on the surface.

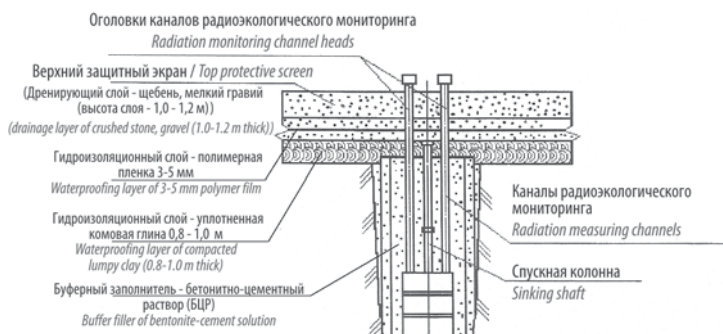


Рис. 2. Верхняя часть СБД на стадии окончания консервации
Fig. 2. LBW top structures during final conservation

дение буферного материала (раствора), заполняющего свободное пространство внутри СБД, возведение перекрытия над устьем скважины и, наконец, создание верхнего защитного экрана.

Хранилища скважинного типа имеют стабильную замкнутую геометрическую форму и четко зафиксированный объем пустот, зависящий от общего объема контейнеров РАО, загруженных в них (в частности, объем пустот в СБД-2 составляет 60 м³, в СБД-1 – 49 м³). Таким образом, качество заполнения могильника буферным материалом на стадии консервации можно контролировать по объему закаченного раствора.

Процесс укладки буферного материала должен быть непрерывным, с подачей раствора по специальному трубопроводу диаметром 100-150 мм, подвешенному к стенке обсадной колонны. По мере заполнения хранилища подающий трубопровод должен приподниматься с таким расчетом, чтобы расстояние от его нижнего (выходного) торца до поверхности уложенного раствора составляло не менее 1 м.

Защитный экран должен включать следующие основные элементы [2]:

- основной противоильтрационный (гидроизоляционный) слой для исключения проникновения в скважины атмосферных осадков и поверхностных вод (полимерная пленка толщиной 3-5 мм);
- дренарующий слой, предотвращающий прямое поступление воды к основному гидроизоляционному слою и отводящий ее за пределы скважины;
- гидроизоляционный слой, подстилающий основной противоильтрационный слой, защищающий его от разрушения и препятствующий проникновению подземных животных, корней растений и непреднамеренному вторжению человека.

СБД-1 и СБД-2 сейчас находятся в стадии окончания постэксплуатационного периода. Для перехода к периоду консервации (переводу хранилищ в статус объектов захоронения) необходимо составить проект и получить соответствующую лицензию. По предварительному расчету, на проведение технических мероприятий по переводу двух хранилищ СБД с учетом инженерной подготовки потребуется 30 суток.

СВОЙСТВА БУФЕРНОГО МАТЕРИАЛА

В процессе консервации очень важным является вопрос о составе буферного материала для заполнения пустот, поскольку при этом создается еще один инженерный барьер на возможном пути миграции радионуклидов за пределы объекта захоронения. Исходя из сложившейся

The repositories are free of water, providing evidence that the casing pipes are leak-tight [1]. Rapid test analysis of the rate of corrosion of the LBW-2 casing pipe, performed using specimens located at various depths in 2002 and retrieved for analysis in 2010, demonstrated that the casing pipes durability without any deterioration of leak-tightness and bearing capacity may be as long as approximately 90 years.

Measurements taken throughout the complete depth of the repository using observation channels located right next to the LBW-2 casing pipe outer surface demonstrated that the levels of dose rate from γ -radiation were within background values.

Therefore, analysis of the repository wells' structural design, its multi-barrier protection features and automatic georadiomonitoring system gives grounds for them to be considered as highly-reliable and environmentally safe and in line with the IAEA recommendations.

CONSERVATION

The life cycle of the disposal wells consists of several periods:

- operational period (from the start of construction to completion of radwaste loading);
- post-operational period (radwaste packages maintained in storage mode in order to monitor the process of any natural changes in the protective properties of the barriers and confirm that the design safety criteria are met);
- conservation.

The final period includes the decommissioning of the georadiomonitoring system and its support systems, dismantling and removal of any temporary components used for waste loading and during the post-operational period, injection of the buffer material (solution) to fill up any voids inside the LBW, construction of a slab over the well mouth and finally, arrangement of the top protective structure.

The well-type repositories have a stable enclosed geometry and a known volume of voids, which depends on the total volume of casks with radwaste loaded into them (in particular, the voids volume in the LBW-2 is 60 м³, and in LBW-1 49 м³). Therefore, the quality of repository backfilling with the buffer material during conservation could be measured by the volume of backfill mortar injected.

The buffer material injection process should be continuous, with the mortar supplied through a special 100-150 mm diameter pipeline suspended onto the casing pipe wall. As the repository is filled up, the supply pipe must be lifted so as to ensure that the distance from its lowest end (outlet) to the surface of the injected mortar is at least 1 m.

The protective overstructure is to include the following main components [2]:

- main counter-infiltration (waterproofing) layer to prevent ingress of atmospheric precipitation and surface waters into the well (polymer film 3-5 mm thick);
- drainage blanket to prevent direct access of water to the main waterproofing layer and channel it away from the well;
- another waterproofing layer underlying the main counter-infiltration layer to protect it from subterranean

практики ликвидации пустот в приповерхностных хранилищах неглубокого заложения, наиболее приемлемыми с точки зрения предъявляемых требований по удобоукладываемости, гидроизоляционным и сорбционным свойствам являются бентонито-цементные растворы (БЦР).

Поскольку в СБД отсутствует прямой доступ к месту укладки раствора, весьма существенными являются такие его качества, как удобоукладываемость (свойство легко прокачиваться по растворопроводам и укладываться плотным и тонким слоем, не расслаиваться при хранении, транспортировании и перекачке) и пластичность (способность растекаться под действием собственного веса или других внешних сил). Обе эти характеристики определяются соотношением количества воды, вяжущего вещества и бентонитовой глины.

Буферный материал, предназначенный для заполнения скважин, не является в этом случае несущим элементом, поэтому его прочность может быть невысокой (1-1,5 МПа), что дает возможность существенно экономить цемент. При проектировании целесообразно рассмотреть и вариант такого соотношения составляющих, чтобы БЦР постоянно находился в гелеобразном состоянии. Можно также проанализировать возможность использования в качестве буферного материала гранулированного бентонита (без вяжущего вещества), опираясь на зарубежный опыт: в Швейцарии получены хорошие результаты в лабораторных и натуральных экспериментах при изоляции высокоактивных отходов [3].

При необходимости водопроницаемость буферного материала и, следовательно, вероятность миграции радионуклидов с водой за пределы могильника может быть снижена примерно в два раза за счет использования напрягающих цементов с добавкой тонкомолотого кремнезема вместо портландцементов. Этот эффект прослеживается и при гидротермальных воздействиях, что особенно существенно, например, при разогреве вмещающей среды в случае размещения в скважине тепловыделяющих отработавших источников ионизирующих излучений. Следует отметить, что у растворов, изготовленных на основе напрягающих цементов и набирающих прочность в условиях ограничения деформаций свободного расширения (то есть в пределах обсадной колонны), проницаемость как по воде, так и по газу, снижается на несколько порядков. При отсутствии напрягающих цементов можно использовать портландцементы марок 400 и 500 с применением напрягающих добавок – алюминатно-сульфатных, алюминатно-оксидных, оксидных.

Таким образом, конструктивные особенности хранилищ скважинного типа позволяют без значительных материальных затрат и времени переводить их в статус объектов окончательной изоляции.

Литература / References:

1. Прозоров Л.Б. Новые хранилища РАО: скважины большого диаметра / Л.Б. Прозоров, Ю.В. Литинский, А.В. Ткаченко // Барьер безопасности. – 2005. – №3-4. – С.47-50.
2. ГОСТ Р 52037. Могильники приповерхностные для захоронения радиоактивных отходов. Общие требования. М.: Госстандарт России. – 2003. – 36 с.
3. Rizzi M. Granular MX-80 bentonite as buffer material: a focus on swelling characteristics / M. Rizzi, L. Laloui, S. Salager, P. Marshall // 4th international meeting "Clays in natural and Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement", France, Nantes, March 29 – April 1st, 2010.

an-living animals, plant roots and inadvertent human access.

Both LBW-1 and LBW-2 are currently at the end of their post-operational periods. In order to make the transition to conservation (i.e. make them true repositories), a package of documents needs to be prepared and submitted and an appropriate licence obtained. According to preliminary estimates, the technical measures to effect the transition to repository mode on both LBWs, including engineering preparations, will take 30 days

BUFFER MATERIAL PROPERTIES

In the process of conservation it is very important to control the composition of the buffer material used to fill up the voids, as the filler creates another engineered barrier preventing potential migration of radionuclides to outside the repository. Considering the existing practice of voids backfilling in shallow near-surface repositories, the most acceptable in terms of castability, waterproofing and sorption properties are bentonite-cement mortars.

As in the LBWs there is no direct access to the mortar casting location, it is vital for the mortar to possess sufficient castability (ability to be easily pumped through mortar supply piping and be cast in a dense thin layer, and not to display segregation behaviour during storage, transport and pumping) and plasticity (ability to spread out under the force of gravity or other external forces). Both of these characteristics are determined by the ratio between the amounts of water, cement and bentonite clay.

The buffer material for well backfilling is not in this case expected to act as a bearing component, so it is acceptable for it to have relatively low strength (1-1.5 МПа), leaving room for considerable cement saving. During design it would be advisable to also consider such a composition of mortar ingredients so as to ensure that the bentonite-cement mortar is always in a jelly-like state. Another potential option to consider as a buffer material is granular bentonite (i.e. free of any cement) using some foreign experience: Switzerland has obtained good laboratory and field experimental results using this material for isolation of high-level radwaste [3].

Where necessary, water permeability of the buffer material, and accordingly, the probability of water-borne radionuclides migration to outside the repository could be reduced approximately by a factor of two by using self-stressing cements with additions of finely-ground silicon oxide instead of Portland cement. This effect is also observed under hydrothermal impacts, which is particularly important, for example, during the heating of the host environment when heat-releasing spent sources of ionising radiation are placed into the well. It should be noted that the mortars based on self-stressing cements that gather strength under limited free expansion deformations (i.e. within the casing pipe) display permeability by both water and gases several orders of magnitude lower than normally. When self-stressing cements are not available, Portland cement grades 400 and 500 may be used in combination with stressing additives: aluminate sulphate, aluminate oxide, and oxide.

Therefore, the structural and design features of well-type repositories mean that they provide an economic and time-saving method of waste disposal.