

ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДОЛГОВРЕМЕННОГО ХРАНЕНИЯ РАО

EXPERIENCE AND OUTLOOK FOR LONG-TERM RADWASTE STORAGE

А.С. БАРИНОВ, *к.т.н.*,
А.С. ВОЛКОВ, *к.т.н.*,
С.М. ЛАЩЕНОВ, *к.т.н.*
(ГУП МосНПО «Радон»)



A.S. BARINOV,
Candidate of Technical Science,
A.S. VOLKOV,
Candidate of Technical Science,
S.M. LASCHENOV,
Candidate of Technical Science
(SUE Radon Moscow)

■ На территории Научно-производственного комплекса ГУП МосНПО «Радон» уже почти 50 лет действует полигон радиоактивных отходов, где осуществляется долгосрочная изоляция РАО, образующихся на промышленных предприятиях и военных объектах, в исследовательских и медицинских организациях Москвы, Московской и 10 прилегающих областей. На одной площадке действуют старые и недавно сооруженные объекты, а также строится хранилище, отвечающее самым современным требованиям.

С 1960-х до конца 1990-х годов на полигоне производилось захоронение РАО в соответствии с нормами и правилами того времени. Приповерхностные хранилища, построенные в 1960-1980-х годах, представляют собой объекты с железобетонными стенами, днищем и перекрытием, сооруженные с полным заглублением в грунт или с подземной и наземной частью, разделенные перегородками на отсеки. Отходы закладывались в отсеки послойно – в некондиционированной форме, с использованием несертифицированных упаковочных средств. Пустоты заполнялись цементной массой, изготовленной на воде или малоактивных ЖРО.

В 1990-х годах начались разработки, направленные на внедрение техники кондиционирования отходов. Полигон приобрел статус пункта хранения.

Проектные решения, принимавшиеся в 2000-е годы, принципиально не отличались от прежних. Однако теперь над хранилищами возводили надстройки, используемые в производственных целях до первичной консервации объектов. Внедрялись модернизированные технологические процессы. Начиная с этого времени, короткоживущие РАО средней и низкой удельной активности размещаются в типовых хранилищах в кондиционированной (пригодной для долговременного хранения) форме с применением сертифицированных контейнеров.

Отработавшие источники ионизирующего излучения хранятся в 18 мини-хранилищах скважинного типа глубиной 6 м, в матрицах из легкоплавких сплавов на основе свинца.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ И АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ ХРАНЕНИЯ

Предотвращение распространения радионуклидов за пределы хранилищ обеспечивает система барьеров – ин-

■ The site of the SUE Radon Moscow Science and Production Association has for nearly 50 years now featured a disposal field for radioactive waste, the purpose of which is long-term isolation of radwaste generated by industrial and military sites, research and medical institutions of the city of Moscow, Moscow region and 10 neighbouring regions. The same site accommodates both old and recently built installation, and construction is under way of a storage facility that meets the latest standards and requirements.

Since the 1960s until the end of the 1990s, the field was receiving radwaste for disposal, using processes that were in compliance with the codes and regulations of the time. The near-surface storage facilities built during the 1960s-1980s are basically structures with reinforced concrete walls, bottom and top slab, either completely submerged below ground level or with underground and overground parts, divided into a number of storage compartments by partitions. The waste was placed into the compartments in a layer-by-layer arrangement, with the waste being in non-conditioned forms, enclosed in non-certified packages. Any voids were then filled with a cement grout made using water or low-level liquid radwaste.

In the 1990s, work began to introduce a waste conditioning system on the site. The disposal field was assigned the status of a waste storage location.

The design solutions that were adopted in the 2000s were not fundamentally different from those of the decades before. However, overground structures were now built over the storage spaces to be used for production purposes until the facilities would go into primary preservation. More advanced processes were introduced. Since that time, short-lived low and intermediate-level radwaste is placed into standardised storage compartments in a conditioned (suitable for long-term storage) form, using certified containers.

Spent sources of ionising radiation are now stored in 18 mini storage wells 6 metres deep, incorporated into matrices of lead-based low-melting alloys.

STORAGE SAFETY ANALYSIS AND ASSURANCE

Prevention of radionuclides dissemination to outside of the storage facilities is assured by a system of barriers, both natural and engineered. Engineered barriers include the civil structures and preservation coatings, packages (containers), matrix materials inside the radwaste packages, and filler materials be-

женерных и естественного. К инженерным барьерам относятся строительные конструкции сооружений и консервирующее покрытие, упаковочные средства (контейнеры), матричные материалы внутри упаковок РАО, буферные материалы между упаковками. Каждый из них может выполнять защитную функцию независимо от состояния других барьеров.

Естественным барьером служит геологическая среда «ближнего поля» хранилищ – малопроницаемые глинистые грунты, обладающие высокими сорбционными свойствами. При проектировании очередных сооружений, в ходе мониторинга объектов неоднократно проводились исследования по обоснованию безопасности хранилищ, и к настоящему времени не выявлено факторов, свидетельствующих о некорректном выборе участка полигона.

Для контроля эксплуатационных качеств (изоляционных свойств) хранилищ систематически отбираются и анализируются пробы воды из дренажных систем, донных отложений, почвы, растительности.

Периодически выполняется анализ безопасности. При этом сначала рассматриваются сценарии деградации сооружений под влиянием медленно действующих факторов, таких как коррозия металла, старение бетона, а также эффекты внезапных воздействий, разрушающих инженерные барьеры.

Оцениваются последствия событий, которые могут вызвать сбой нормальной работы, таких как:

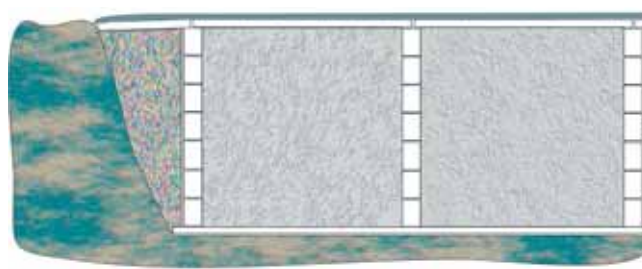
- дорожное происшествие при транспортировке РАО;
- разрушение упаковки РАО при производстве работ;
- внезапное отключение электроэнергии;
- пожар на технологической установке;
- затопление хранилища и подтопление его грунтовыми водами;
- разрушение части хранилища в результате авиакатастрофы и других происшествий (например, террористического акта);
- лесной пожар, пожар на магистральном газопроводе вблизи объекта.

По установленной методологии, с применением математического моделирования выполняются расчеты, позволяющие прогнозировать скорости миграции радионуклидов при нарушениях системы барьеров, а также индивидуальные дозы облучения, которые персонал и население могут получить по различным сценариям – непосредственно от внешнего облучения, по пищевым цепочкам, через атмосферный воздух. Результаты расчетов используются в отчетах по обоснованию безопасности сооружений или видов деятельности по обращению с РАО.

Для поддержания эксплуатационных качеств старых сооружений ведутся систематические работы: создание консервирующих покрытий, реконструкция дренажных сетей, инъекция матричных материалов в массив РАО.

НОВОЕ СООРУЖЕНИЕ ДЛЯ ДОЛГОСРОЧНОЙ ИЗОЛЯЦИИ РАО

В 1994-1996 годах в рамках контракта TACIS с участием специализированных европейских организаций был разработан концептуальный проект совершенство-



Типовое хранилище РАО (площадь – 60×20 м, глубина – 5 м)
Standardised radwaste storage location (area 60×20 m, depth 5 m)

tween the packages. Each of these can act as a protection barrier regardless of the status of other barriers.

The natural barrier is represented by the geological formations that immediately surround the storage location, i.e. the low-permeability clayey soils of a high sorption capacity. During the design of new facilities and monitoring of existing ones, numerous research activities were performed to justify safety of the storage facilities, and so far no factors have been identified that would question correctness of the location of the disposal field.

In order to monitor the functional qualities (isolation properties) of the storage facilities, samples of water from the drainage systems, bottom sediments, soil and vegetation are collected and analysed in a systematic fashion.

Safety analysis is periodically performed. That includes review of structures degradation as a result of slow-acting impacts such as metal corrosion and concrete aging, as well as effects from sudden impacts that can destroy the engineered barriers.

Evaluations are made of events that can disrupt normal operation of the radwaste management system, such as:

- road accident during radwaste transportation;
- radwaste package breach during handling;
- sudden loss of electric power;
- fire on a process installation;
- storage facility flooding from external water influx or rise of ground water;
- destruction of a part of the storage facility as a consequence of aircraft crash or another occurrence (for example, an act of terror);
- forest fire, fire on a main gas pipeline near the storage facility.

As per the established methodology, calculations are performed using mathematical modelling to predict the rates of radionuclides migration in the event of breach of the barriers, as well as the individual exposure doses to personnel and the public as a result of various scenarios – both directly from external irradiation, through food chains, and through atmospheric air. Calculation results are then used in safety justification calculations for the installations or various radwaste management activities.

In order to maintain the required functional qualities of older structures, the following systematic work activities are also on-going: arrangement of preserving coatings, reconstruction of drainage networks, and injection of matrix materials into the radwaste mass.

NEW STRUCTURE FOR LONG-TERM RADWASTE ISOLATION

In 1994-1996, under a contract with TACIS involving a number of specialised European organisations, a conceptual de-

вания полигона, одно из основных направлений которого предусматривало создание наземного хранилища типа «бункер» (vault). В 1997-1998 годах консорциумом фирм Belgatom, SGN и AEATechnology был разработан технический проект нового сооружения.

Наземное хранилище имеет перед заглубленным следующие преимущества:

- гораздо меньшая площадь пограничной поверхности между массивом отходов и естественной геологической средой;
- упрощенная процедура возможного последующего извлечения отходов;
- неподверженность воздействию эффекта «bath-tubing», который может привести к затоплению или подтоплению хранилища;
- более высокий уровень контроля качества строительства за счет снижения объема так называемых скрытых работ.

Кроме того, новое хранилище позволит снизить расходы на эксплуатацию полигона за счет более компактного размещения РАО и повышения надежности их изоляции.

Сооружение площадью 170×190 м строится из монолитного железобетона; толщина основания – 500 мм, стен – 400 мм. Для защиты всех строительных конструкций используются полимерные пленочные материалы и гидроизолирующие составы.

В состав хранилища войдут 20 унифицированных автономных модулей (площадь 38×36 м, высота – 6 м), вмещающих по 5600 м³ отходов. К настоящему времени заканчивается строительство первых 10 модулей, получены лицензии на эксплуатацию первых четырех.

Каждый модуль состоит из двух секций, разделенных на три отсека. В отсеках создаются штабелы упаковок в четыре яруса, шириной в три ряда. При этом более опасные упаковки РАО экранируются менее опасными: в центре штабеля размещаются упаковки со средней активностью, по периферии – низкоактивные. Такой порядок загрузки минимизирует дозы облучения персонала. Отходы, содержащие долгоживущие нуклиды (в том



Создание консервирующего покрытия старого хранилища РАО
Arrangement of a preserving coat over an old radwaste storage facility

sign was developed for upgrades of the disposal field, with one of the key upgrades being creation of an overground vault-type storage facility. In 1997-1998, a consortium between Belgatom, SGN and AEATechnology developed the engineering design package of the storage facility.

Overground storage offers the following advantages over sub-surface storage:

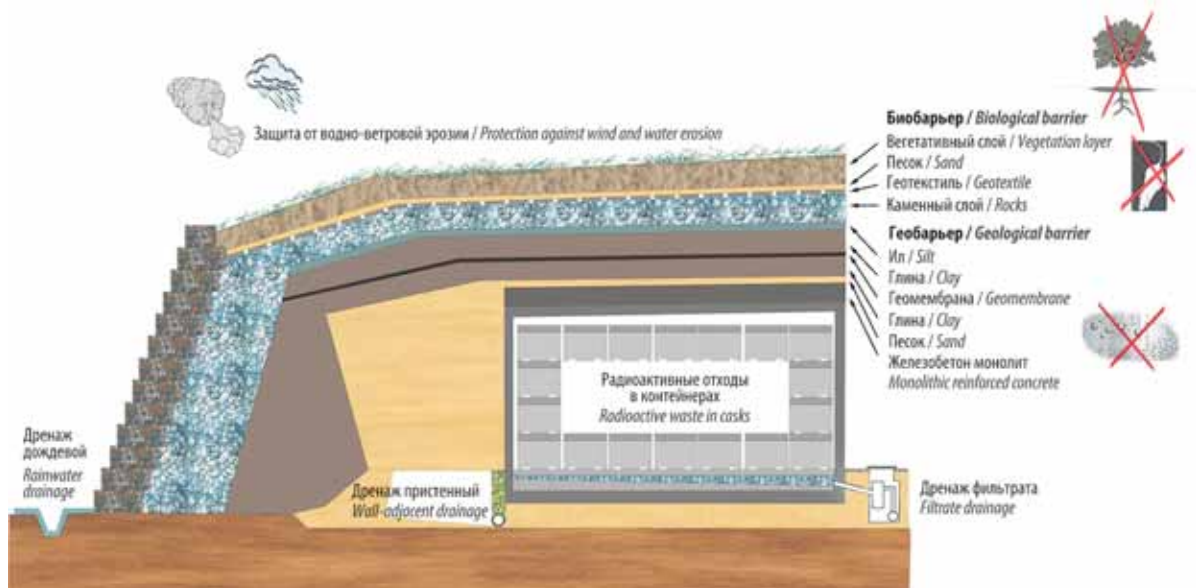
- much smaller contact area between the bulk of the waste and the surrounding natural geological formations;
- simplified process of potential future waste retrieval;
- non-susceptibility to the "bath-tubing" effect, which can cause flooding or underflooding of the storage facility;
- better quality control of construction due to reduced amounts of so-called "hidden works".

In addition to that, the new facility will help reduce operating costs of the disposal field as a result of more compact placement of radwaste and increased reliability of its isolation.

The structure, 170×190 m in area, is made of monolithic reinforced concrete; foundation plate 500 mm thick, walls 400 mm thick. All civil structures are protected by coatings of polymer film materials and waterproofing compounds.

The storage facility will include 20 standardised autonomous modules (38×36 m in area, 6 m in height), each accommodating 5,600 m³ of waste. The construction of the first ten modules is currently nearing completion, and operating licences for the first four have been received.

Each module consists of two sections, each divided into three compartments. Inside the compartments, waste packages are arranged into formations four tiers tall and three rows deep.



Сооружение для изоляции радиоактивных отходов / Radioactive waste isolation structure

числе нейтронные источники) размещаются в отдельных отсеках, в центральных зонах сооружения, что обеспечит наибольшую степень их изоляции от окружающей среды.

В январе-феврале 2011 года первый отсек хранилища заполнен упаковками РАО.

Местонахождение каждой упаковки точно фиксируется в базе учетных данных, по форме «модуль – отсек – ряд – ярус – место».

В хранилище размещаются только кондиционированные отходы в железобетонных контейнерах НЗК (наиболее опасные РАО) и металлических контейнерах КМЗ. Эти контейнеры имеют одинаковые внешние габариты. РАО загружают в отсеки вилочным погрузчиком через боковые проемы модулей.

Действуют три системы дренажа сточных вод. Дождевая канализация (для упорядоченного отвода атмосферных осадков) представлена сетью открытых лотков. Дренажная система (для стабилизации уровня грунтовых вод на площадке хранилища) – средствами пристенно-пластового дренажа с использованием фильтрующих керамзитобетонных плит. Вода из нижних точек обеих систем отводится в контрольно-регулирующий бассейн очистных сооружений.

Система отведения фильтрата (для удаления воды от возможных протечек кровли и конденсата на стенах и контейнерах) включает дренажный пласт в днище каждого модуля, отводящие трубы, колодцы с ловушками вместимостью 50 л, самотечный магистральный коллектор и контрольный бак. Такая система дает возможность идентифицировать конкретный модуль сооружения, где требуется проведение ремонтных работ, и в случае разрушения перекрытия отводить наиболее загрязненную воду отдельно от прочих потоков.

ВОЗМОЖНОСТИ ОКОНЧАТЕЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ РАО

Статус сооружения в настоящее время – долгосрочное хранилище РАО. Однако проект учитывает возможность преобразования его в объект бессрочной изоляции РАО. Например, предусмотрены способы ввода в полость сооружения буферного материала, прочность конструкций рассчитана с учетом нагрузок от консервирующего покрытия. Такое покрытие обеспечивает защиту от просачивания воды, водно-ветровой эрозии, чрезмерного развития корневой системы растений, непреднамеренного вторжения человека после снятия активного контроля, контролируемый дренаж дождевых и талых вод, предотвращение образования непрерывной капиллярной сети и активности норных животных, а также теплоизоляцию бетонных конструкций.

Консервирующее покрытие представляет собой сложную многослойную конструкцию из глины, песка, щебня и геосинтетических материалов. Оно обладает свойством самозащитности, в частности, отдельные пласты материалов устойчивы против сползания, водупорные глинистые слои защищены от пересушивания и растрескивания. Верхняя растительная «шапка» обеспечивает испарение листьями дождевой воды и воды, извлеченной растениями из почвы через корневую систему. Более половины воды поверхностного стока удаляется именно этим путем, а не дренажной системой.

The more radioactive waste packages are positioned so as to be shielded by less dangerous ones: the centre of the arrangement will include intermediate-level packages, with low-level ones occupying the periphery. This arrangement will minimise exposure to personnel. The waste that contains long-lived radionuclides (including neutron sources) will be placed in dedicated compartments in the central areas of the structure, providing for their maximum isolation from the environment.

In January-February 2011, the first compartment in the storage facility was loaded with packages of radwaste.

The location of each package is identified precisely in the accounting database, using the "module – compartment – row – tier – location" format.

The storage facility only accepts conditioned waste packaged into reinforced concrete NZK containers (the most dangerous radwaste) and metallic KMZ casks. Both packages have identical outer dimensions. The radwaste packages are put into their storage locations inside the compartment by a forklift through side accessways in the module.

There are three drainage systems to channel away waste water. The stormwater sewer system (for removal of atmospheric precipitation) consists of a network of open collection trays. The drainage system (for stabilisation of the level of ground water on the storage facility site) consists of a set of wall-adjacent bed drainage features using filtering ceramic concrete plates. Water from the lowest points of both systems is drained to the monitoring and control pool of the sewage water treatment plant.

The filtrate removal system (which removes water from potential roof leaks and condensate that builds up on the walls and casks) includes a drainage level at the bottom of each module, off-take pipes, wells with traps 50 litre capacity, gravity-flowing main header and a measuring tank. This system allows identification of precisely which module in the structure has developed a defect and needs repair, and should a breach of the top slab occur, enables separation of the heaviest contaminated water from other flows.

POTENTIAL FOR FINAL RADWASTE ISOLATION

The current status of the installation is long-term radwaste storage facility. However, the design envisages its potential conversion into a site for indefinite isolation of radwaste. For example, provisions are made for injection of a buffer material into the voids in the storage space; the structures are designed to also support the weight of a potential preservation coating. Such a coat would provide protection against water ingress, water and wind-caused erosion, excessive plant root development, accidental human intrusion after removal of active control over the site, controlled drainage of rainwater and meltwater, prevention of continuous capillary network formation and activity of hole-digging animals, as well as thermal insulation of concrete structures.

The preservation coat is a complex multi-layered structure of clay, sand, crushed stone and geosynthetic materials. The coat is self-protecting, in particular, the individual layers are resistant against sliding, the water-proof clay layers are protected from overdrying and cracking. The top vegetation layer ensures evaporation from the leaves of rainwater and water extracted by the plants through their root systems from the soil below. In fact, more than half of the surface run-off is removed in this manner, rather than by the drainage system.