

КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ОТРАБОТАВШИХ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

SPENT IONISING RADIATION SOURCES CONDITIONING

О.К. КАРЛИНА, к.х.н.
(ГУП МосНПО «Радон»)



O.K. KARLINA, Candidate of Chemical Science
(SUE SIA Radon)

■ Основная доля активности РАО, поступающих на специализированные комбинаты «Радон», содержится в отработавших источниках ионизирующего излучения (ИИИ). Упростить решение вопросов их безопасной изоляции может включение ИИИ в металлическую матрицу.

■ The biggest share of activity present in radwaste received at the specialised Radon plants is contributed by used sources of ionising radiation (SIRs). Safe isolation of these sources may be achieved through their incorporation into a metal matrix.

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ХРАНИЛИЩ

Отработавшие источники ионизирующего излучения, содержащие радионуклиды с периодом полураспада менее 30 лет, в Российской Федерации и странах СНГ, как правило, размещены в типовом подземном сооружении. Такое хранилище представляет собой железобетонный колодец, где находится приемный резервуар из нержавеющей стали. Он соединен с поверхностью загрузочным каналом (трубой), который оканчивается оголовком с приемной (разгрузочной) воронкой. Пространство между внешними стенками канала и резервуара и стенками колодца заполнено бетоном. Отработавшие ИИИ сбрасывают в резервуар непосредственно из транспортных контейнеров через разгрузочную воронку.

За годы эксплуатации выявлен ряд недостатков, связанных с особенностями конструкции типовых хранилищ и условиями их использования. Так, источники скапливаются в донной части приемного резервуара, что приводит к локальным тепловым и радиационным нагрузкам на конструкционные элементы сооружения. Кроме того, зафиксированы случаи попадания в резервуар воды (из-за накопления конденсата или разгерметизации хранилища). При высокой мощности дозы гамма-излучения (более 100 Зв/с) происходит интенсивный радиолитиз воды, который приводит к образованию взрывоопасного газа водорода и интенсификации коррозионных процессов, разрушающих как стенки резервуара, так и оболочки ИИИ.

Кроме того, проектная предельная суммарная активность отходов в хранилище не должна превышать $1,2 \times 10^{15}$ Бк ($3,3 \times 10^4$ Ки) по ^{60}Co . Эта величина достигается намного раньше, чем исчерпывается объем приемного резервуара сооружения.

Для повышения безопасности хранения отработавших ИИИ на ГУП МосНПО «Радон» разработана технология их кондиционирования — включения в металлическую матрицу.

Кондиционированию обязательно предшествует обследование хранилища, которое позволяет определить: активность ИИИ; размеры резервуара, степень его заполнения

INCREASED STORAGE RELIABILITY

In Russia and other former-USSR countries, spent sources of ionising radiation that contain radionuclides with under 30 years half-life are normally placed in a standard underground storage facility. This storage facility is a reinforced concrete pit where a receiving tank made of stainless steel is located. It is connected to the surface by a loading channel (pipe), at the end of which there is a head with a receiving (unloading) funnel. The space between the outer channel walls and the pit walls is filled with concrete. Spent sources of ionising radiation are released into the tank directly from the transport casks through the unloading funnel.

Years of operation have demonstrated that such standard storage facilities have certain deficiencies related to their design features and operating conditions. For instance, the sources accumulate near the bottom of the receiving tank, which leads to increased local thermal and radiation impact on structural elements. Additionally, ingress of water into the tank has been observed (due to condensate build-up or loss of tightness). High levels of gamma dose rate (above 100 Sv/s) lead to intensive radiolysis of water, which causes generation of explosive hydrogen gas and intensifies the corrosion processes that deteriorate both the tank walls and the source covers.

Also, the design maximum total ^{60}Co activity of waste in a storage facility cannot exceed 1.2×10^{15} Bq (3.3×10^4 Ci). This value is achieved much sooner than the volume of the receiving tank is filled.

In order to increase safety of spent SIRs storage, the Moscow State Unitary Enterprise SIA Radon has developed a technology of their conditioning by incorporation into a metal matrix.

Prior to such conditioning, the storage facility must be surveyed to establish activity of the ionising radiation sources; size of the tank, extent to which it is filled with radiation sources, temperature, presence and amount of water; dose rate at the facility head and inside the tank; contamination of water and the loading channel with radionuclides; presence of hydrogen in the gaseous phase.

The set of equipment also includes a video surveillance camera that can operate in radiation fields with dose rate up

источниками, температуру, наличие и уровень воды; мощность дозы на оголовке хранилища и в резервуаре; загрязненность воды и загрузочного канала радионуклидами; наличие водорода в газовой фазе.

В комплекс технических средств входит также видео-контрольное устройство, способное работать в радиационных полях с мощностью дозы до 500 Зв/ч. Оно позволяет обследовать состояние поверхностей приемного резервуара и загрузочного канала хранилища, а также находящихся в них ИИИ.

Процесс включения в матрицу осуществляют непосредственно в емкости приемного резервуара, куда по специальному металлопроводу последовательно вливают порции жидкого свинца и его сплавов. После кристаллизации расплава проводят видеосъемку внутренней поверхности резервуара, по результатам которой процесс кондиционирования может быть скорректирован.

Кондиционирование проводят по мере накопления ИИИ в конкретном сооружении. После включения отработавших источников в металлическую матрицу хранилища готово к приему следующей порции ИИИ.

Применение этого способа позволяет надежно изолировать отходы от окружающей среды и увеличить емкость хранилища до $6,3 \times 10^{15}$ Бк ($1,7 \times 10^5$ Ки).

Технологию включения отработавших источников в металлическую матрицу на ГУП МосНПО «Радон» используют уже около 20 лет. Для ее реализации специалисты предприятия создали ряд передвижных и модульных установок, например, «Москит-1А» и «Москит-Т» (разработаны и внедрены в начале 90-х годов), иммобилизационный модульный комплекс МИК-1 (внедрен в производство в 2005 году).

За время эксплуатации установок кондиционированы, путем включения в металлическую матрицу, отработавшие ИИИ суммарной активностью свыше 10^6 Ки.

Наличие материально-технической базы и квалифицированных специалистов позволяет предприятию проводить работы по обследованию хранилищ и кондиционированию отработавших ИИИ не только на собственной площадке, но и оказывать помощь другим российским спецкомбинатам системы «Радон» и аналогичным зарубежным организациям. Так, за последние годы специалисты московского «Радона» участвовали в работах по обследованию хранилищ и кондиционированию отработавших ИИИ на Башкирском и Свердловском СК «Радон», Нововоронежской АЭС, а также на специализированных предприятиях Беларуси, Украины и Болгарии.

КАПСУЛИРОВАНИЕ ИИИ С ДОЛГОЖИВУЩИМИ РАДИОНУКЛИДАМИ

Отработавшие ИИИ, содержащие долгоживущие α -излучающие радионуклиды, в настоящее время хранятся в неунифицированных упаковках различного типа, не предназначенных для долговременной (десятки и сотни лет) изоляции РАО. На большинстве региональных спецкомбинатов такие источники находятся в емкостях для хранения ТРО, на ГУП МосНПО «Радон» — в разнообразных транспортных контейнерах в специальном инженерном сооружении. Этот способ хранения нельзя считать достаточно надежным. Уплотнительные материалы контейнеров, уменьшающие воздействие на источники внешних факторов, со временем приходят в негодность — значит,



Герметичная металлическая капсула для ИИИ с долгоживущими α -излучателями
A sealed metallic capsule for SIRs that contain long-lived α -emitters

to 500 Sv/h and can be used to survey the condition of the surfaces in the receiving tank and the loading channel, as well as the sources of ionising radiation inside.

The process of incorporation into the matrix takes place directly inside of the receiving vessel, into which batches of liquid lead and lead alloys are poured sequentially through a special metal channel. Upon crystallisation of the melt, the internals of the vessel are examined using the video camera; resulting from this examination, corrections may be made to the conditioning process.

Conditioning is performed as spent radiation sources build up in a particular facility. As soon as the spent sources have been incorporated into the metal matrix, the facility is ready to receive the next batch of SIRs.

The application of this method allows reliable isolation of waste from the environment as well as increases the storing capacity to 6.3×10^{15} Bq (1.7×10^5 Ci).

The technology of spent sources incorporation into a metallic matrix has been used by Radon for about 20 years now. To implement it, Radon specialists have built a number of mobile and modular installations, such as Mosquit-1A and Mosquit-T (both designed and realised in early 1990s), the mobile immobilisation complex MIK-1 (production started in 2005).

Over the period of operation of such installations, spent ionising radiation sources with total activity over 10^6 Ci have been conditioned by incorporation into a metal matrix.

Availability of a strong technical base and a qualified workforce enables Moscow Radon not only to survey the storage facilities and perform SIR conditioning at their own site, but also to provide assistance to other Radon plants in Russia as well as to international organisations. Over the recent years, specialists from Moscow Radon have participated in surveys and spent ionising radiation source conditioning activities on Bashkiria Radon and Sverdlovsk Radon, Novovoronezh NPP, as well as at similar specialised sites in Belarus, Ukraine and Bulgaria.

ENCAPSULATION OF SIRs CONTAINING LONG-LIVED RADIONUCLIDES

Spent sources of ionising radiation that contain long-lived α -emitters are currently stored in non-unified packages of



Установка кондиционирования ИИИ Москит-Т
The Mosquit-T installation for SIR conditioning

с каждым годом возрастает риск нарушения целостности оболочек источников и попадания радиоактивных веществ в окружающую среду. Кроме того, изотоп ^{226}Ra (наиболее распространенный α -излучатель, использующийся в ИИИ) при распаде приводит к образованию газообразного изотопа радона, ^{222}Rn , скопление которого в местах хранения источников увеличивает риск внутреннего облучения персонала, работающего поблизости. А необходимый периодический контроль целостности транспортных контейнеров и оболочек ИИИ требует больших трудозатрат и может повлечь повышенное облучение работников.

На ГУП МосНПО «Радон» за последние годы разработан способ кондиционирования таких источников путем помещения их в герметичную металлическую капсулу.

Поскольку значительная часть α -излучающих источников представляют собой мелкие изделия (трубки, иглы), для них был создан унифицированный контейнер небольших размеров с двойными стенками из свинца и его сплавов. Предварительные расчеты и оценки радиационных полей позволили установить пределы активности источников, размещаемых в таком контейнере, — 1 Ки для радиевых источников и до 10 Ки для ИИИ, содержащих другие α -излучающие материалы. В качестве барьера, отделяющего источники и продукты распада α -излучателя от окружающей среды, была выбрана свинцовая матрица.

Технологический процесс кондиционирования включает ряд последовательных операций. Создают контейнер, непосредственно в его корпусе отливают свинцовую матрицу, затем во внутреннюю полость контейнера перегружают источники. Для герметизации между внутренней крышкой и корпусом контейнера размещают свинцовый вкладыш, далее закрывают крышкой и нагревают в специальном устройстве для плавления вкладыша. После этого контейнер помещают в промежуточную упаковку особого вида, которая размещается в сертифицированном контейнере типа НЗК-150-1,5П, предназначенном для размещения кондиционированных форм РАО в хранилище.

Конструкция контейнера для кондиционирования позволяет, в случае необходимости, его открыть и извлечь находящиеся внутри ИИИ.

Большинство технологических операций производится дистанционно — с использованием специальных манипуляторов, телевизионной системы и защитного экрана.

Реализация этой схемы позволит провести окончательную инвентаризацию и учет находящихся на хранении

various types, which are not suitable for long-term (tens and hundreds of years) isolation of radwaste. On most regional specialised plants, such spent sources are stored in containers designed for solid radwaste; whereas on Moscow Radon they are currently placed in various transport containers inside a specifically-engineered building. This storage method can not be considered sufficiently reliable. Sealing materials of these containers, which mitigate external impacts on the sources of radiation, tend to deteriorate with time, which means that the risk of breach of the source covers and release of radioactivity into the environment is growing with each year. Apart from that, decay of ^{226}Ra (the most common α -emitter used in ionising radiation sources) leads to formation of gaseous ^{222}Rn , which, as it builds up in the storage locations, increases the risk of internal exposure for personnel working in its vicinity. At the same time, periodic inspections to check integrity of the transport containers and SIR covers require considerable labour and may cause overexposure of personnel involved.

During the recent years, Moscow Radon has developed a conditioning method for such sources by placing them into a sealed metallic capsule.

As a large proportion of α -emitting sources are small-sized items (tubes, needles), a unified container was designed for them. This container is rather small and has double walls made of lead and lead alloys. Preliminary calculations and radiation field assessments have established the activity limits for sources placed inside such containers: 1 Ci for radium sources and up to 10 Ci for sources that contain other α -emitters. Lead matrix was selected as the barrier to confine the sources and α -decay products from the environment.

The conditioning process involves a series of consecutive operations. First, the container is built. Then, directly inside the container body, the lead matrix is cast; then, the sources are loaded into the inner cavity of the container. To ensure sealing, a lead insert is placed between the inner lid and the body, after which the top lid is closed and the container is heated in a special device so that the insert would melt. Then, the container is loaded into a special interim package, which in turn is placed inside the certified NZK-150-1,5P container, designed for storage of conditioned radwaste.

The design of the container allows for it to be opened and the sources retrieved if necessary.

Most of the packaging operations are performed remotely by manipulators, using a television surveillance system and a shielded screen.

The implementation of such a system would enable final inventory and accounting for used sources of ionising radiation in storage that contain long-lived radionuclides, reliably isolate them from the environment and ensure controlled safe storage for a long period of time (over 1000 years).

This method and the container for conditioning of used sources of ionising radiation are protected by a patent issued in the Russian Federation.

Currently on Moscow Radon there is an experimental conditioning test bench assembled, which has been fully tested and key operations of the conditioning process tried out. Resulting from these tests, detailed design of a pilot conditioning facility has been developed. It is intended to be used not only for conditioning of this type of waste, but also for surveys of "lost" batches of radwaste which the plant

отработавших ИИИ, содержащих долгоживущие радионуклиды, надежно изолировать их от окружающей среды, а также обеспечить контролируемое безопасное хранение в течение длительного времени (более 1000 лет).

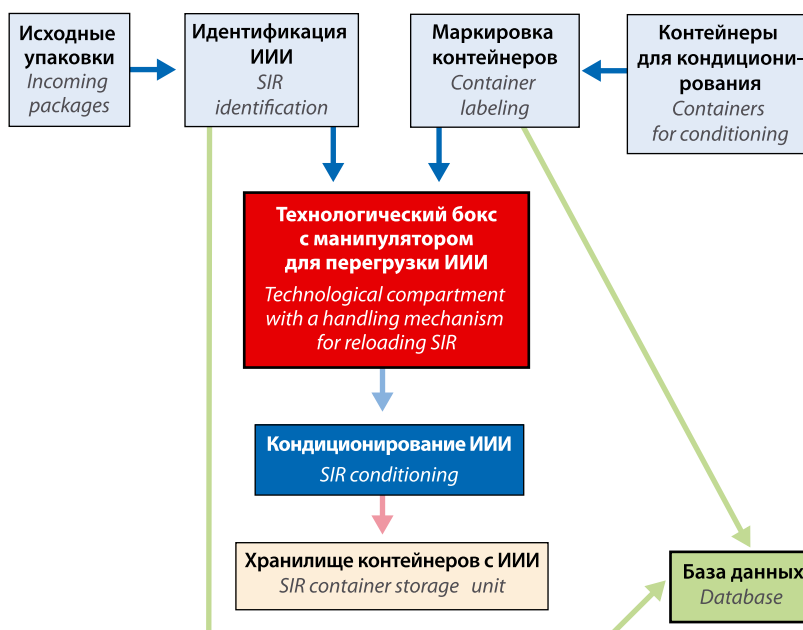
Данный способ и контейнер для кондиционирования отработавших ИИИ защищены патентом Российской Федерации.

В настоящее время на ГУП МосНПО «Радон» изготовлен экспериментальный стенд, проведены его испытания и отработка основных операций процесса кондиционирования источников. По результатам испытаний разработан технический проект опытно-промышленной установки. Ее предполагается использовать не только для кондиционирования данного вида отходов, но и для обследования «потерянных» источников, которые периодически поступают на предприятие. Конструкция установки и ее техническое оснащение позволят проводить осмотр и идентификацию ИИИ по виду радионуклида и его активности.

В перспективе планируется распространить указанную технологию на региональные спецкомбинаты системы «Радон». При этом особое значение имеет их целевое обследование для определения количества, типа и состояния хранения отработавших ИИИ, содержащих долгоживущие α -излучатели.

Кроме того, проведены предварительные исследования по оценке возможности включения в металлическую матрицу отработавших топливных элементов для безопасного транспортирования и долговременного хранения. Предполагается, что низкотемпературные сплавы можно будет использовать многократно. Герметичные ТВЭЛы их не загрязняют, а в случае кондиционирования дефектных расплав можно будет очистить от большей части радионуклидов.

ОБЩАЯ СХЕМА КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ИИИ OVERVIEW OF SOME REGULATORY ARRANGEMENTS SIR



periodically receives. The facility is designed and equipped so that it can examine and identify the source from its radionuclide and activity level.

The application of this technology could potentially be extended to other regional Radon sites. It could be particularly useful as a tool for surveys to establish quantity, type and storage conditions of spent SIRs that contain long-lived α -emitters.

In addition to that, Radon specialists have performed preliminary studies to assess whether the metal matrix inclusion technology could possibly be used to encase spent fuel elements for safe transportation and long-term storage. It is currently assumed that in this case low-temperature alloys could be recycled. Leaktight fuel rods will not contaminate the alloys, and even if the alloys are used to condition defected fuel, the melt could still be cleaned from most of the contamination.

- **Источники ионизирующего излучения (ИИИ)** используются в радиоизотопных излучателях различного назначения, генераторах тепловой и электрической энергии, дефектоскопах, аналитических и контрольно-измерительных приборах и т.д.

ИИИ подразделяются на открытые и закрытые, конструкция которых предотвращает контакт радиоактивного материала с окружающей средой. После отработки ресурса или в случае разгерметизации источников, когда их переработка невозможна или нецелесообразна, ИИИ направляют на спецкомбинаты «Радон» для длительного хранения.

Отработавшие ИИИ — отдельный класс очень опасных радиоактивных отходов. Они высокоактивны и содержат практически все радионуклиды, используемые в источниках ионизирующих излучений. Кроме того, в матрице источника накапливаются дочерние продукты распада изотопов.

- **Sources of ionising radiation (SIR)** are used for various purposes in radioisotopic emitters, as well as in generators of thermal and electric energy, flaw detectors, analytical instruments, measuring instruments, etc.

The SIRs are divided into open and closed, where contact of radioactive material with the environment is structurally prevented. Once spent or no longer leak tight, when they cannot be practically or reasonably reprocessed, such sources of ionising radiation are delivered to specialised Radon sites for long-term storage.

Spent SIRs represent a separate group of particularly dangerous radwaste. They are characterised by high activity levels and contain virtually all radionuclides that are used in ionising radiation sources. Apart from that, these sources accumulate secondary products of isotopic decay.