

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ПРИ ВРЕМЕННОМ ХРАНЕНИИ ОТВЕРЖДЕННЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ В ХРАНИЛИЩАХ АНГАРНОГО ТИПА

С.В. Росновский, В.П. Поваров

*Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская АЭС»
396071, Воронежская обл., г. Нововоронеж, промзона Южная, 1*



Традиционно для обеспечения безопасного временного хранения отверженных радиоактивных отходов на площадках АЭС используются дорогостоящие капитальные хранилища с массивными инженерными конструкциями. Такой подход обусловлен необходимостью соблюдения нормативных требований по ограничению гамма-фона на территории, прилегающей к хранилищу.

В то же время, оптимизация затрат при временном хранении отверженных РАО может быть достигнута за счет применения легких хранилищ ангарного типа. При этом безопасность хранения, включая радиационную защиту персонала, населения и окружающей среды, безусловно обеспечивается за счет применения специальных организационно-технических решений.

Филиалом АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская АЭС» для целей временного хранения отверженных РАО, относящихся в соответствии с ОСПОРБ-99/2009 к категории среднеактивных отходов, успешно эксплуатируются легкие хранилища ангарного типа. В процессе эксплуатации разработаны методология и способ кондиционирования и временного хранения отверженных РАО, обеспечивающих передачу РАО на окончательное захоронение без дополнительных технологических операций и необоснованных затрат.

Разработаны методология оценки радиационной обстановки вокруг хранилищ при временном хранении РАО, а также программный комплекс для прогнозирования радиационной обстановки при принятии решения о компоновке периферийных рядов хранилища.

Ключевые слова: радиоактивные отходы, временное хранение, хранилища ангарного типа, радиационная упаковка, оптимизация радиационной защиты.

Для обеспечения безопасного временного хранения отверженных радиоактивных отходов на площадках АЭС традиционно используются капитальные хранилища с массивными инженерными конструкциями. Такой подход обусловлен необходимостью соблюдения нормативных требований по ограничению гамма-фона на территории, прилегающей к временному хранилищу.

С учетом того, что мировой объем низко- и среднеактивных отходов, подлежащих кондиционированию, превышает 6000 тыс. м³ [1, 2], затраты на временное

© С.В. Росновский, В.П. Поваров, 2021

хранение указанных отходов могут составлять миллиарды долларов.

Оптимизация затрат при временном хранении отвержденных РАО может быть достигнута за счет применения легких хранилищ ангарного типа. При этом безопасность хранения, включая радиационную защиту персонала, населения и окружающей среды, безусловно обеспечивается за счет применения специальных организационно-технических решений.

С середины 2000-х гг. в Российской Федерации был разработан ряд контейнеров, обеспечивающих безопасное кондиционирование радиоактивных отходов в полном соответствии с требованиями нормативных документов [3 – 5].

Железобетонные контейнеры типа НЗК-150-1,5П активно используются предприятиями атомной отрасли Российской Федерации для кондиционирования различных видов радиоактивных отходов [6]. Эти контейнеры помимо изоляции радиоактивного содержимого от окружающей среды в силу высокой плотности могут рассматриваться как элемент биозащиты от воздействия гамма-полей при транспортно-технологических операциях и в процессе временного хранения на площадке предприятия [7, 8].

С 2008 г. Филиалом АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская АЭС» для целей временного хранения отвержденных РАО, относящихся в соответствии с ОСПОРБ-99/2009 к категории среднеактивных отходов, успешно эксплуатируются легкие хранилища ангарного типа. В процессе эксплуатации разработана и апробирована методология кондиционирования и временного хранения отвержденных РАО, образовавшихся в результате эксплуатации энергоблоков Нововоронежской АЭС, обеспечивающих минимизацию затрат, безопасность при временном хранении и передаче РАО на окончательное захоронение без дополнительных технологических операций [9].

В ходе выполнения работ решены следующие практические задачи:

- разработаны методология и способ кондиционирования и временного хранения отвержденных РАО, обеспечивающие передачу РАО на окончательное захоронение без дополнительных технологических операций и необоснованных затрат;
- разработана методология оценки радиационной обстановки вокруг хранилищ при временном хранении РАО;
- разработана методика измерения активности и радионуклидного состава РАО без вскрытия контейнеров и проботобора с использованием аналитических методов;
- разработан специальный программный комплекс расчета оптимальной загрузки временного хранилища контейнеров, обеспечивающей минимизацию радиационных полей на прилегающей территории.

Результаты, полученные в процессе исследований, обеспечивают возможность организации временного хранения отвержденных отходов на площадке АЭС с использованием контейнеров типа НЗК и легких неотопливаемых хранилищ ангарного типа. Разработанные модели и методики позволяют проводить оценку радиационной обстановки на местности.

В рамках разработанной технологии кондиционирования первичные отходы в виде солевого продукта установки глубокого упаривания размещаются в металлических контейнерах-бочках, которые упаковываются в призматические бетонные контейнеры типа НЗК-150-1,5П с заполнением свободного пространства веществом, ослабляющим ионизирующее излучение (песок, бетон и т.д.) [10].

Бетонные контейнеры располагаются для временного хранения до отправки национальному оператору на бетонированной площадке выше уровня земли. Сверху хранилище закрывается легкой металлической конструкцией, защищающей содержимое от атмосферных явлений, при этом радиационная защита посредством данной

конструкции незначительна.

Защита от ионизирующего излучения достигается специализированной методикой размещения отходов внутри вторичной упаковки и схемой размещения данных упаковок в хранилище.

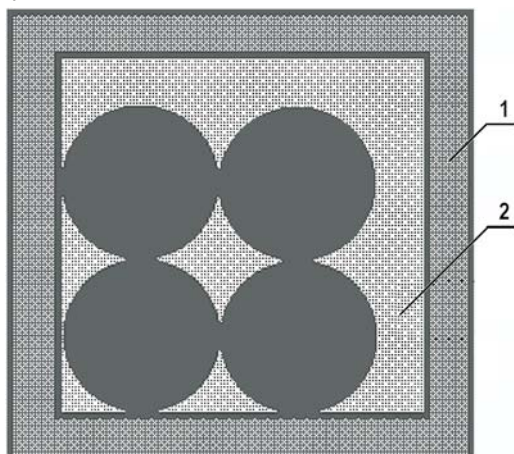


Рис. 1. Пример асимметричной загрузки контейнера НЗК-150-1,5П (вторичной упаковки): 1 – бетонная стенка контейнера; 2 – наполнитель (дополнительная биозащита)

На рисунке 1 показан пример асимметричной загрузки вторичной упаковки.

При условии размещения первичных контейнеров с близкими параметрами излучения согласно рис. 1 вследствие различной толщины слоя поглощающего вещества получаем диаграмму излучения на внешних стенках вторичной упаковки (рис. 2.)

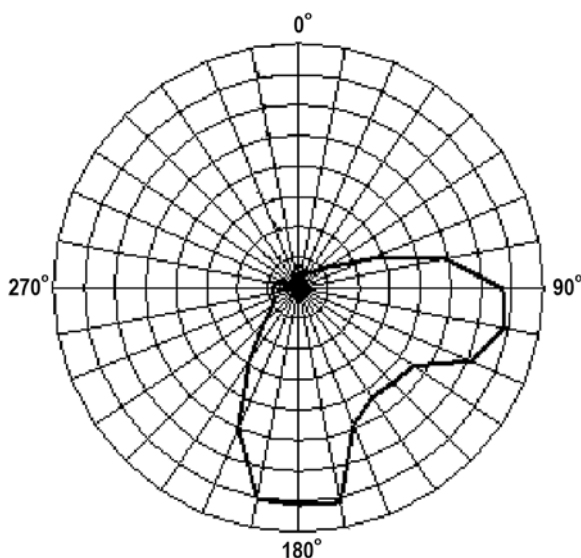


Рис. 2. Диаграмма направленности гамма-излучения от заполненного контейнера НЗК-150-1,5П

Из анализа диаграммы следует, что мощность эквивалентной дозы существенно различается в различных точках бетонного контейнера. Таким образом можно управлять параметрами радиационной безопасности, формируя определенную расстановку внешних контейнеров в хранилище. На рисунке 3 показан пример компоновки.

Для повышения эффективности данного решения разработаны математический ап-

парат и программное обеспечение для расчета оптимальной загрузки хранилища, обеспечивающей минимальное радиационное воздействие на окружающую среду [4].

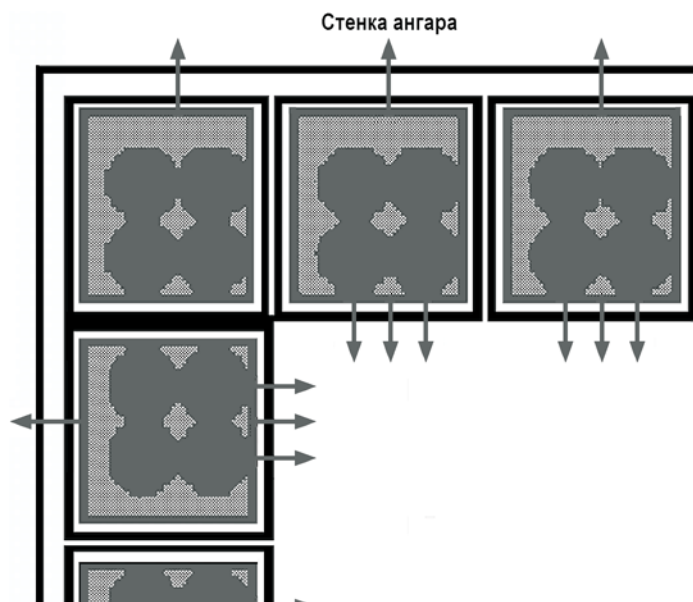


Рис. 3. Схема ориентации граней внешних контейнеров при размещении в периферийных рядах хранилища

При вводе хранилищ ангарного типа в опытную эксплуатацию была принята методика для оценки возможности их заполнения на основании определения допустимых значений мощности эквивалентной дозы.

В качестве контрольных уровней МД при эксплуатации хранилищ ангарного типа были приняты следующие значения на основании правил радиационной безопасности и внутренних инструкций:

- в зоне контролируемого доступа 6.0 мкЗв/ч;
- на границе санитарно-защитной зоны 1.2 мкЗв/ч.

При оценке радиационной обстановки учитывается факт, что в связи с невысокой активностью хранимых отходов излучение за пределами хранилища формируется только контейнерами, расположенными во внешнем ряду.

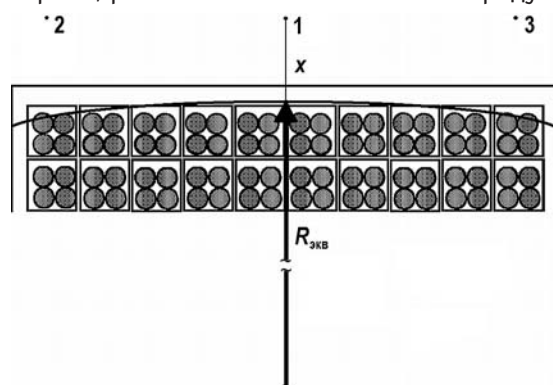


Рис. 4. Модель для оценки радиационной обстановки вокруг хранилища ангарного типа

Излучения от контейнеров во внутренних рядах в практически значимых величинах не проникает через внешний ряд контейнеров. Таким образом, внешний ряд контейнеров изолирует ионизирующее излучение от контейнеров, находящихся во

внутренних рядах хранилища.

Для расчета значения мощности эквивалентной дозы, создаваемой внешними контейнерами на территории специализированного пункта и за его пределами, представим наружный ряд контейнеров в виде участка поверхности сферического излучателя с некоторым радиусом $R_{\text{экв}}$ (рис. 4). Очевидно, что наибольшее значение мощности эквивалентной дозы наблюдается вдоль перпендикуляра, исходящего из центра грани ангара (излучение в точке 1 на рисунке будет выше, чем в точках 2 и 3).

Мощность дозы на заданном расстоянии от центра стены выражается зависимостью

$$D = A/(x + R_{\text{экв}})^2 + D_{\text{ф}}, \quad (1)$$

где D – мощность дозы в данной точке от контролируемой стены ангара, мкЗв/ч; $R_{\text{экв}}$ – эквивалентный радиус сферического источника, вычисляемый экспериментально; A – константа, характеризующая мощность излучения источника, приведенную к его центру (определяется экспериментально); x – расстояние от стены ангара до рассматриваемой точки, м; $D_{\text{ф}}$ – фоновое значение мощности дозы в месте производства измерений, мкЗв/ч.

На основании экспериментальных данных были определены расчетные константы A и $R_{\text{экв}}$, в результате чего выражение приобрело вид

$$D = [3,6 \cdot D_0 / (x + 20,3)^2 + 0,13] \pm 7\% \text{ [мкЗв/ч]}, \quad (2)$$

где $A = 3,6 \cdot D_0$; D_0 – средняя фоновая мощность дозы на поверхности стены ангара по данным дозиметрического контроля; $D_{\text{ф}} = 0,13$ мкЗв/ч.

В соответствии с $D_{\text{ф}}$, для непревышения мощности эквивалентной дозы на внешней поверхности ограждения специализированного пункта величины 1,0 мкЗв/ч средняя мощность дозы от граней контейнеров, обращенных в сторону ограждения, не должна превышать 4,5 мкЗв/ч. Для непревышения мощности дозы на территории специализированного пункта величины 6,0 мкЗв/ч средняя мощность дозы от граней контейнеров, обращенных к стене ангара, не должна превышать 10,8 мкЗв/ч.

По результатам выполненных работ в 2014 г. АО «Концерн Росэнергоатом» оформлен патент на изобретение [11].

На практике для принятия решения о возможности размещения контейнера в периферийный ряд ангара зачастую более удобным является критерий, основанный на величине активности солевого продукта, а не на значении мощности дозы гамма-излучения. Для приведения ранее выработанных критериев к значению допустимой величины активности отходов в периферийном ряду воспользуемся моделью сферического источника с активностью, распределенной по поверхности сферы (рис. 5).

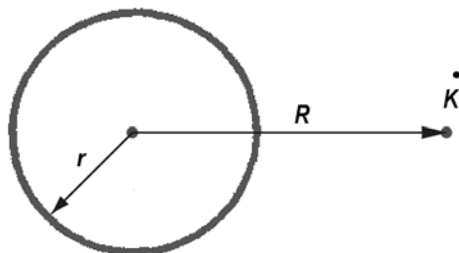


Рис. 5. Модель для расчета допустимой активности радиоактивных отходов в контейнерах НЗК-150-1,5П, размещаемых в периферийных рядах ангара

Для указанного источника величина поверхностной активности связана с мощностью дозы соотношением

$$K = 2\pi A_s \Gamma_{\delta} r \cdot \ln[(R + r)/(R - r)]/R, \quad (3)$$

откуда

$$A_s = KR / \{2\pi\Gamma_{\delta} r \cdot \ln[(R+r)/(R-r)]\}, \quad (4)$$

Для слоя контейнеров, обращенного в сторону ограждения специализированного пункта, $R = r + 17 = 37,3$ м, допустимая $K = 1$ мкЗв/ч. Для слоев контейнеров, обращенных в сторону специализированного пункта, $R = r + 1 = 22,3$ м, допустимая $K = 6$ мкЗв/ч.

Тогда из соотношения (4) имеем значения удельной поверхностной активности на единицу площади поверхности контейнера для ряда, обращенного в сторону

- ограждения, $A_s = 2,22 \cdot 10^6$ Бк/м²;
- зоны возможного загрязнения, $A_s = 3,16 \cdot 10^6$ Бк/м².

При площади грани контейнера, равной 2,27 м², имеем среднюю допустимую активность одной единицы для ряда, обращенного в сторону

- ограждения спецпункта, $A_{\text{нзк}} = 5,04 \cdot 10^6$ Бк;
- зоны возможного загрязнения, $A_{\text{нзк}} = 7,17 \cdot 10^6$ Бк.

Расчеты проведены без учета ослабления гамма-излучения в стенке внешнего контейнера, а также дополнительного ослабляющего слоя песка между стенками внешнего и внутренних контейнеров. Общая толщина указанного защитного слоя составляет примерно 40 мм при средней плотности 2 г/см³. Коэффициент ослабления указанным экраном гамма-излучения с энергией $E = 1$ МэВ равен примерно 30.

Таким образом, итоговое значение средней допустимой активности одного внешнего контейнера составляет для ряда, обращенного в сторону

- ограждения, $A_{\text{нзк}} = 1,512 \cdot 10^8$ Бк;
- зоны возможного загрязнения, $A_{\text{нзк}} = 2,151 \cdot 10^8$ Бк.

При размещении новой партии прошедших классификацию контейнеров принятие решения о позиционировании контейнеров производится по следующим правилам.

– Установка слабоактивных контейнеров осуществляется в периферийных рядах хранилища, так как доза излучения от этого класса контейнеров минимальна.

– Контейнеры с максимальной активностью размещаются в центральной части хранилища. При этом важно соблюсти правило ориентации стенки с нанесенным на ней знаком радиационной опасности – установить контейнер стенкой с минимальной мощностью дозы в сторону периферийного ряда, так как установка контейнера любой другой стороной приведет к увеличению влияния излучения на стенки хранилища.

– Контейнеры средней активности устанавливаются между периферийными рядами и центральной зоной с особо активными контейнерами.

Для более точного расчета радиационных полей вокруг хранилища необходимо использовать методику, основанную на представлении каждого цилиндрического контейнера с соевым продуктом УГУ в виде отдельного излучателя с использованием принципа суперпозиции полей и метода Монте-Карло.

На базе полученных результатов разработано программное обеспечение в виде специализированных модулей и в виде отдельного приложения для управления хранилищем ангарного типа.

На рисунке 6 показан результат работы программного модуля, определяющего распределение мощности эквивалентной дозы от контейнера внешней упаковки, заполненного отходами с определенными характеристиками. Как видно из рисунка, полученные результаты повторяют диаграмму, представленную на рис. 2, данные для которой получены экспериментальным путем.

На основании разработанной модели допускается выполнение расчетов вручную, а также создание специализированного программного обеспечения. На рисунке 7 показан результат моделирования: получена кривая, ограничивающая область с превышением санитарных норм мощности эквивалентной дозы.

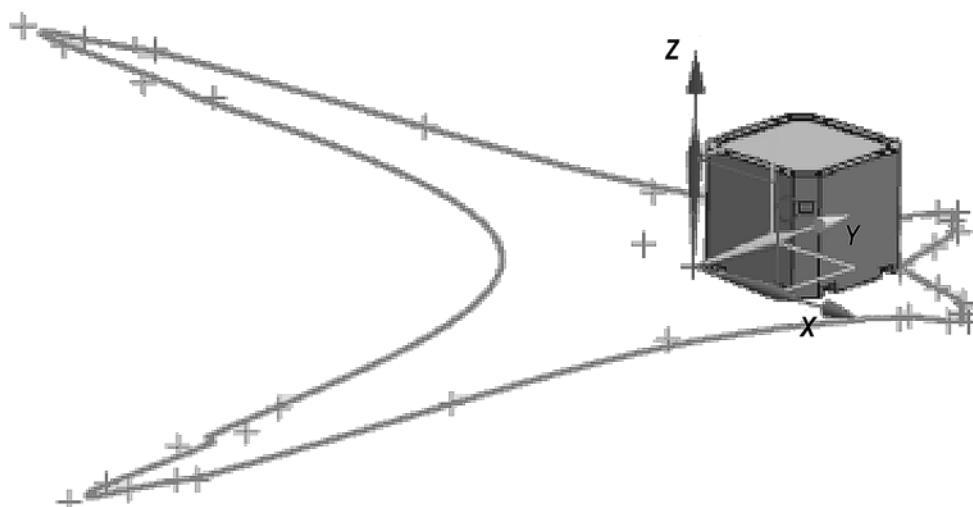


Рис. 6. Программное прогнозирование распределения мощности дозы гамма-излучения от заполненного контейнера НЗК-150-1,5П

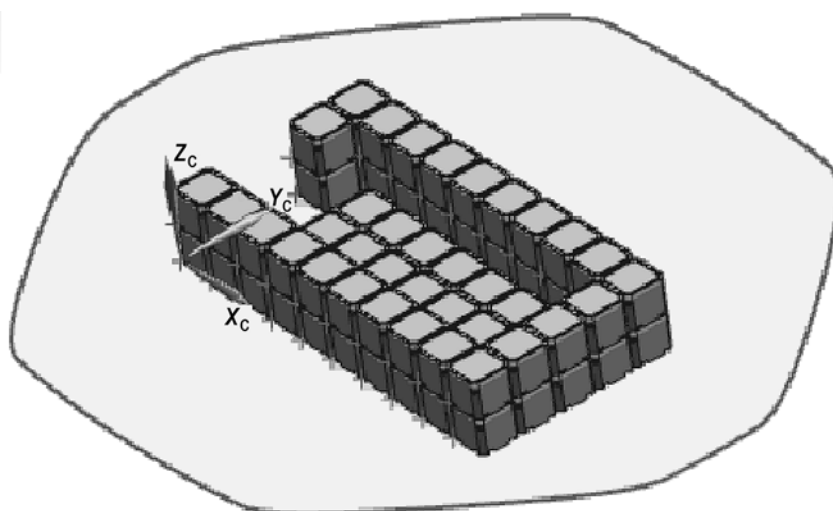


Рис. 7. Результат применения модели: графическое представление области с заданной мощностью дозы гамма-излучения

Результаты моделирования сравнивались с результатами экспериментальных данных. Полученная разница составила не более 20 %. Основная причина расхождения выражена невысокой точностью входных данных, описывающих содержимое хранилища. Тестирование программного обеспечения показало его удовлетворительную работоспособность и возможность внедрения в опытную эксплуатацию на Нововоронежской АЭС. В ходе тестирования было подтверждено, что рассмотренные в работе научные изыскания имеют практическое подтверждение [12 – 14].

Программное обеспечение оценки радиационной обстановки при временном хранении контейнеров НЗК в хранилищах ангарного типа успешно интегрировано с Единой автоматизированной информационно-аналитической системой учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов Нововоронежской АЭС [15].

Литература

1. *Соболев А.И.* Безопасное обращение с радиоактивными отходами: современная деятельность МАГАТЭ. // Радиоактивные отходы. – 2019. – № 2 (7). – С. 41-48; DOI:

- 10.25283/2587-9707-2019-2-41-48 .
2. *Сорокин В.Т., Павлов Д.И.* Технологии окончательной изоляции радиоактивных отходов: европейский опыт и тенденции. // Радиоактивные отходы. – 2018. – № 4 (5). – С. 24-32.
3. *Радченко М.В., Кормилицына Л.А., Могулян В.Г., Матюнин Ю.И.* Многоцелевые упаковки для радиоактивных отходов. // Радиоактивные отходы. – 2017. – № 1. – С. 75-85.
4. *Сорокин В.Т., Демин А.В., Кащеев В.В., Ирошников В.В., Гатауллин Р.М., Меделяев И.А., Перегудов Н.Н., Шарафутдинов Р.Б.* Контейнеры для радиоактивных отходов низкого и среднего уровня активности. // Ядерная и радиационная безопасность. – 2013. – № 2 (68). – С. 15-22.
5. *Сорокин В.Т.* Обоснование безопасности захоронения солевого плава, образующегося на установках глубокого упаривания АЭС, размещенного в контейнерах НЗК-150-1,5П. // Радиоактивные отходы. – 2019. – № 2 (7). – С. 31-40; DOI: 10.25283/2587-9707-2019-2-31-40 .
6. *Гатауллин Р.М., Меделяев И.А., Бутылкин М.Т., Свиридов Н.В., Подшивалов Д.Д., Смелков Д.А., Сорокин В.Т., Кащеев В.В., Демин А.В.* Установка для отверждения радиоактивных отходов. Российская Федерация. Патент на изобретение RU 113411 U1: МПК G 21F9/00. Заявка от 27.09.2011.
7. *Гатауллин Р.М., Давиденко Н.Н., Свиридов Н.В. и др.* Контейнеры для радиоактивных отходов низкого и среднего уровня активности. / Под ред. В.Т. Сорокина. – М.: Логос, 2012. – 256 с.
8. *Шведов А.А., Демин А.В., Заручевская Г.П., Кащеев В.В., Шидловская Т.В.* Транспортно-технологическая схема обращения с невозвратными защитными железобетонными контейнерами НЗК-150-1,5П. / Сборник докладов V Международной научно-практической конференции «Обращение с радиоактивными отходами». – Москва, 2008 г.
9. *Наливайко Е.М., Росновский С.В.* Готовы к работе с национальным оператором. Организация обращения с отвержденными РАО на Нововоронежской АЭС. // Росэнергоатом. – 2010. – № 8. – С. 32-35.
10. *Росновский С.В., Булка С.К.* Прогнозирование радиационной обстановки при хранении кондиционированных РАО в хранилищах ангарного типа. // Теплоэнергетика. – 2014. – Вып. 61. – № 2. – С. 47-54; DOI: 10.1134/S0040363614020118 .
11. *Поваров В.П., Щукин А.П., Наливайко Е.М., Прытков А.Н., Росновский С.В.* Способ временного хранения радиоактивных отходов. Российская Федерация. Патент на изобретение RU 2530538 C2. Заявка от 08.06.2012.
12. *Росновский С.В., Наливайко Е.М., Мельников Э.С., Трофимов Д.В.* Автоматизация процесса кондиционирования радиоактивных отходов и оптимизация временного хранения радиационных упаковок. // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2014. – № 4. – С. 69-73.
13. *Росновский С.В., Паринов М.В.* Определение ограничений и прогнозируемых входных данных уточненной математической модели автоматизированного склада радиоактивных отходов. / Сборник материалов XVII Международной научно-методической конференции в 5 т. «Информатика: проблемы, методология, технологии». – 2017. – С. 329-331.
14. *Паринов М.В., Росновский С.В.* Автоматизированное управление организацией хранения радиоактивных отходов с использованием математического моделирования и САПР. / Сборник материалов II Международной научно-практической конференции «Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн». – 2016. – С. 183-186.
15. *Булка С.К., Росновский С.В.* Опыт Нововоронежской АЭС по разработке и внедрению Единой автоматизированной системы учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов // Теплоэнергетика. – 2014. – Вып. 61. – № 2. – С. 76-83. DOI: 10.1134/S0040363614020027 .

Поступила в редакцию 18.12.2020 г.

Авторы

Росновский Сергей Викторович, заместитель главного инженера

E-mail: RosnovskySV@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Поваров Владимир Петрович, директор

E-mail: PovarovVP@nvnpp1.rosenergoatom.ru

UDC:621.039.74

ENSURING RADIATION SAFETY DURING TEMPORARY STORAGE OF SOLIDIFIED RADIOACTIVE WASTES IN LIGHT HANGAR-TYPE FACILITIES

Rosnovsky S.V., Povarov V.P.

Rosenergoatom, Joint-Stock Company (REA JSC), Novovoronezh Nuclear Power Plant (NvNPP)

1 Industrial Area Yuzhnaya, 396072 Novovoronezh, Voronezh Reg., Russia

ABSTRACT

To ensure safe temporary storage of solidified radioactive waste at NPP sites, expensive capital storage facilities with massive engineering structures are traditionally used. This approach is determined by the need to comply with regulatory requirements for limiting the gamma background in the area adjacent to the storage facility.

However, using light hangar-type storage facilities, it is possible to optimize the costs of temporary storage of solidified radioactive wastes. At the same time, the safety of storage, including the radiation protection of the personnel, the public and the environment, is undoubtedly ensured through the use of special organizational and technical solutions.

The Novovoronezh NPP, a branch of Rosenergoatom Concern JSC, successfully operates light hangar-type storage facilities for temporary storage of solidified radioactive wastes classified as medium-level wastes in accordance with OSPORB-99/2009. During operation, a methodology and method for conditioning and temporary storage of solidified radioactive wastes were developed to ensure the transfer of radioactive wastes to final disposal without additional technological operations and unreasonable costs.

A methodology has been developed for assessing the radiation situation around storage facilities during temporary storage of radioactive wastes as well as a software package for predicting the radiation situation when it is necessary to make a decision on the layout of the storage peripheral rows.

Key words: radioactive wastes, temporary storage, hangar-type storage, radiation package, optimization of radiation protection.

REFERENCES

1. Sobolev A.I. Safe handling of radioactive waste: current activities of the IAEA. *Radioaktivnye Otkhody*. 2019, no. 2(7), pp. 41-48; DOI: 10.25283/2587-9707-2019-2-41-48 (in Russian).
2. Sorokin V.T., Pavlov D.I. Technologies for final disposal of radioactive waste: European experience and trends. *Radioaktivnye Otkhody*. 2018, no. 4 (5), pp. 24-32 (in Russian).
3. Radchenko M.V., Kormilitsyna L.A., Mogulyan V.G., Matyunin Yu.I. Multi-Purpose

containers for radioactive waste. *Radioaktivnye Otkhody*. 2017, no. 1, pp. 75-85 (in Russian).

4. Sorokin V.T., Demin A.V., Kashcheev V.V., Iroshnikov V.V., Gataullin R.M., Medelyaev I.A., Peregudov N.N., Sharafutdinov R.B. Containers for low- and medium-level radioactive waste. *Yadernaya i Radiatsionnaya Bezopasnost'*. 2013, no. 2 (68), pp. 15-22 (in Russian).

5. Sorokin V.T. Justification of safety of burial of the salt concentrates formed on installations of deep evaporation of the nuclear power plant placed in containers NZK-150-1,5 P. *Radioaktivnye Otkhody*. 2019, no. 2 (7), pp. 31-40; DOI: 10.25283/2587-9707-2019-2-31-40 (in Russian).

6. Gataullin R.M., Medelyaev I.A., Butylkin M.T., Sviridov N.V., Podshivalov D.D., Smelkov D.A., Sorokin V.T., Kashcheev V.V., Demin A.V. *Installation for Solidification Radioactive Waste*. Russian Federation, Patent for Invention RU 113411 U1: IPC G 21F9/00. Application from 27.09.2011 (in Russian).

7. Gataullin R.M., Davidenko N.N., Sviridov N.V. et al. *Containers for Low- and Medium-Level Radioactive Waste*. Ed. V.T. Sorokin. Moscow. Logos Publ., 2012, 256 p. (in Russian).

8. Shvedov A.A., Demin A.V., Zaruchevskaya G.P., Kashcheev V.V., Shidlovskaya T.V. Transport and technological scheme for handling non-returnable protective reinforced concrete containers NZK-150-1.5P. *Proc. of the Vth International scientific and practical conference «Radioactive Waste Management»*. Moscow, 2008 (in Russian).

9. Nalivayko E.M., Rosnovsky S.V. We are Ready to Work with National Operator. Organization of Treatment Approved by the Radioactive Wastes at the Novovoronezh NPP. *Rosenergoatom*. 2010, no. 8, pp. 32-35 (in Russian).

10. Rosnovsky S.V., Bulka S.K. Prediction of the radiation situation during storage of conditioned Radioactive Wastes in hangar-type storage facilities. *Teploenergetika*. 2014, iss. 61, no. 2, pp. 47-54; DOI: 10.1134/S0040363614020118 (in Russian).

11. Povarov V.P., Shchukin A.P., Nalivayko E.M., Prytkov A.N., Rosnovsky S.V. *Method for Temporary Storage of Radioactive Wastes*. Russian Federation, Patent for Invention RU 2530538 C2. Application from 08.06.2012 (in Russian).

12. Rosnovsky S.V., Nalivayko E.M., Melnikov E.S., Trofimov D.V. Automation of the process of conditioning of radioactive waste and optimization of temporary storage of radiation packages. *Electrotekhnicheskie Kompleksy i Sistemy Upravleniya*. 2014, no. 4, pp. 69-73 (in Russian).

13. Rosnovsky S.V., Parinov M.V. Definition of restrictions and predicted input data of the refined mathematical model of the automated storage of radioactive waste. *Proc. of the XVII International scientific and methodological conference «Computer Science: Problems, Methodology, Technologies»*. 2017, pp. 329-331 (in Russian).

14. Parinov M.V., Rosnovsky S.V. Automated management of the organization of storage of radioactive waste using mathematical modeling and CAD. *Proc. of the II International scientific and practical conference «Virtual Modeling, Prototyping, and Industrial Design»*. 2016, pp. 183-186 (in Russian).

15. Bulka S.K., Rosnovsky S.V. Experience of Novovoronezh NPP in developing and implementing a Unified automated system for accounting and control of radiation sources and radioactive waste. *Teploenergetika*. 2014, iss. 61, no. 2, pp. 76-83; DOI: 10.1134/S0040363614020027 (in Russian).

Authors

Rosnovsky Sergey Viktorovich, Deputy Chief Engineer for Radiation Protection

E-mail: RosnovskySV@nvnpp1.rosenergoatom.ru

Povarov Vladimir Petrovich, Director

E-mail: PovarovVP@nvnpp1.rosenergoatom.ru