



УДК: 621.039.74

DOI: 10.26277/SECNRS.2021.102.4.001

© 2021. Все права защищены.

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВРЕМЕННОМ ХРАНЕНИИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ В НЕВОЗВРАТНЫХ ЗАЩИТНЫХ КОНТЕЙНЕРАХ В ЛЕГКИХ ХРАНИЛИЩАХ АНГАРНОГО ТИПА

Поваров В. П.*, д. т. н. (PovarovVP@nvnpp1.rosenergoatom.ru),
Росновский С. В.* (RosnovskySV@nvnpp1.rosenergoatom.ru)

Статья поступила в редакцию 29 июня 2021 г.

Аннотация

Оптимизация затрат при временном хранении упаковок радиоактивных отходов (РАО) может быть достигнута за счет применения легких хранилищ ангарного типа. Филиалом АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская АЭС» разработана технология кондиционирования РАО в виде солевого плава установок глубокого упаривания в первичных упаковках (стальных цилиндрических контейнерах) путем размещения в дополнительную упаковку – железобетонный невозвратный защитный контейнер. При формировании упаковок применяется способ асимметричной загрузки, обеспечивающий минимизацию гамма-фона от двух боковых граней контейнера за счет формирования резко асимметричной диаграммы направленности гамма-излучения. Разработаны и успешно апробированы эмпирические зависимости для оценки радиационной обстановки на местности при временном хранении РАО в ангарах. На основе метода Монте-Карло разработано специализированное программное обеспечение для прогнозирования изменений радиационной обстановки на местности при перестановках упаковок РАО и принятия решений о возможности размещения контейнеров в периферийных рядах хранилища.

► **Ключевые слова:** радиоактивные отходы, временное хранилище, ангар, невозвратный защитный контейнер.

* Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская АЭС», г. Нововоронеж, Россия.

SOME ASPECTS OF INSURING RADIATION SAFETY DURING THE TEMPORARY STORAGE OF RADIOACTIVE WASTE IN NON-RETURNABLE PROTECTIVE CONTAINERS IN LIGHT HANGAR-TYPE STORAGE FACILITIES

Povarov V. P.*, D. Sc.,

Rosnovsky S. V.*

Article is received on June 29, 2021

Abstract

Optimization of costs during temporary storage of radioactive waste (RW) packages can be achieved through the use of light hangar-type storage facilities. Novovoronezh NPP, a branch of Rosenergoatom Concern JSC, has developed a technology for conditioning RW materials in the form of a salt monolith of deep evaporation installations in primary packages (steel cylindrical containers) by placing them in an additional package – a non-returnable protective container. When forming packages, an asymmetric loading method is used, which minimizes the gamma background from the two side faces of the container due to the formation of a sharply asymmetric gamma radiation pattern. Empirical dependences have been developed and successfully tested to assess the radiation situation on the ground during temporary storage of RW in hangars. On the basis of the Monte Carlo method specialized software has been developed to predict changes in the radiation situation on the ground when rearranging RW packages and making decisions about the possibility of placing containers in the peripheral rows of the storage.

► **Keywords:** radioactive waste, temporary storage, hangar, non-returnable protective container.

* Novovoronezh NPP branch of Rosenergoatom Concern JSC, Novovoronezh, Russia.

Цели и задачи работы

Для обеспечения безопасного временного хранения упаковок радиоактивных отходов (РАО) на площадках АЭС традиционно используются капитальные хранилища с массивными инженерными конструкциями. Указанный подход обусловлен необходимостью соблюдения нормативных требований по ограничению гамма-фона на территории, прилегающей к временному хранилищу [1].

Оптимизация затрат при временном хранении упаковок 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» (НВАЭС) для целей временного хранения солевого плава, получаемого на установке глубокого упаривания (далее – солевой плав УГУ), относящегося в соответствии с Основными санитарными правилами обеспечения радиационной безопасности [2] к категории среднеактивных отходов, успешно эксплуатируются легкие хранилища ангарного типа. В процессе эксплуатации разработан и апробирован метод затаривания в контейнеры и временного хранения солевого плава УГУ, образовавшегося в результате эксплуатации энергоблоков НВАЭС, направленный на минимизацию затрат при безусловном обеспечении безопасности при временном хранении и передаче РАО на окончательное захоронение без дополнительных технологических операций [3].

В 1980–90-х гг. на НВАЭС было наработано значительное количество РАО в виде солевого плава УГУ, затаренных в стальные металлические контейнеры цилиндрической формы объемом 0,2 м³.

Принятые требования в федеральных нормах и правилах в области использования атомной энергии (НП-002-15, НП-019-15, НП-058-14 и др.) [4–6] обусловили необходимость повышения безопасности хранения указанных РАО путем размещения в дополнительный контейнер, сертифицированный для целей захоронения данного вида отходов.

В ходе выполнения работ НВАЭС были решены следующие практические задачи:

- разработана методология и способ затаривания в дополнительные контейнеры и временного хранения солевого плава УГУ, 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 пробоотбора с использованием аналитических методов;

- разработано специальное программное обеспечение расчета оптимальной загрузки временного хранилища контейнеров, обеспечивающее минимизацию радиационных полей на прилегающей территории.

Результаты, полученные в процессе исследований, обеспечивают возможность организации временного хранения солевого плава УГУ на площадке АЭС с использованием невозвратных защитных контейнеров (НЗК) и легких неотопливаемых хранилищ ангарного типа. Разработанные модели и методики позволяют проводить оценку радиационной обстановки на местности [7].

Технология размещения в дополнительные контейнеры радиоактивных отходов в виде солевого плава

В рамках разработанной технологии первичные отходы в виде солевого плава УГУ 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.) [8].

Бетонные контейнеры располагаются для временного хранения до отправки во ФГУП «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами» 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 на местности за счет самоэкранировки радиационных упаковок

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

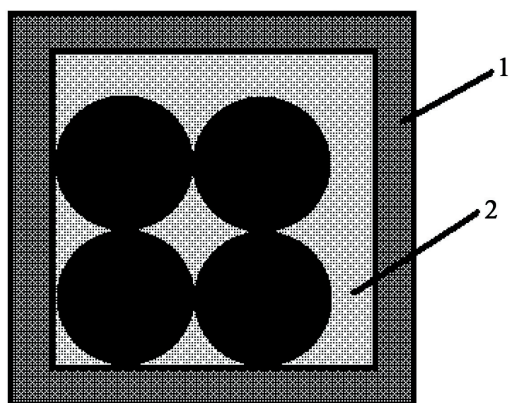


Рис. 1. Пример асимметричной загрузки контейнера НЗК-150-1,5П (вторичной упаковки):
 1 – бетонная стенка контейнера;
 2 – наполнитель (дополнительная биозащита)
 [Fig. 1. Example of asymmetric loading of the container NZK-150-1.5P (secondary package):
 1 – concrete wall of the container;
 2 – filler (additional radiation protector)]

На рис. 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 мы получаем диаграмму излучения на внешних стенках вторичной упаковки, пример которой представлен на рис. 2.

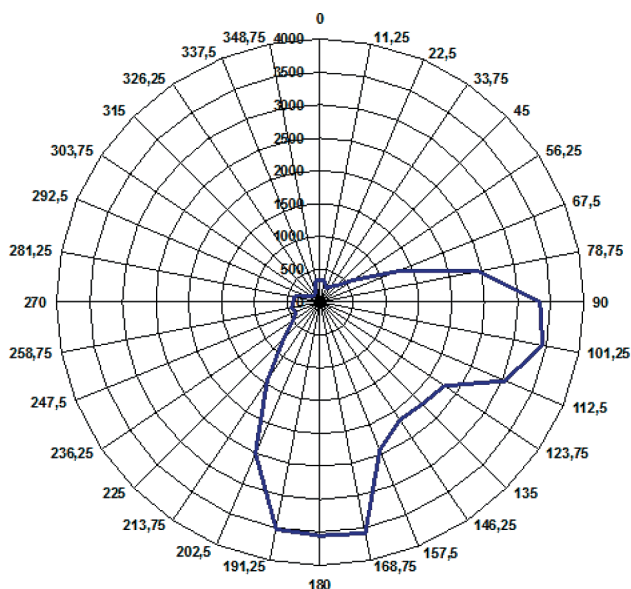


Рис. 2. Диаграмма направленности гамма-излучения от заполненного контейнера НЗК-150-1,5П
 [Fig. 2. The dose rate diagram of gamma radiation from a filled container NZK-150-1.5P]

Из анализа диаграммы следует, что мощность эквивалентной дозы существенно варьируется в различных точках бетонного контейнера. Таким

образом, мы можем управлять параметрами радиационной безопасности, формируя определенную расстановку внешних контейнеров в хранилище. На рис. 3 показан пример компоновки.

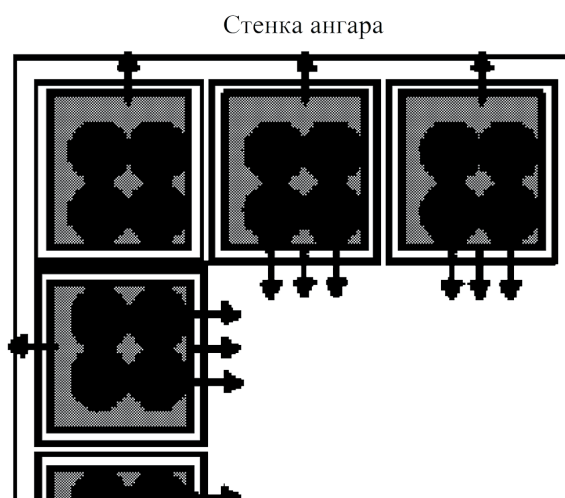


Рис. 3. Схема ориентации граней внешних контейнеров при размещении в периферийных рядах хранилища
 [Fig. 3. The scheme of orientation of the faces of external containers when placed in the peripheral rows of storage]

Для повышения эффективности данного решения разработано специальное программное обеспечение для расчета оптимальной загрузки хранилища, обеспечивающей минимальное радиационное воздействие на окружающую среду [9].

Эмпирическая формула для оценки мощности дозы гамма-излучения на территории, прилегающей к ангарам

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 мощности дозы гамма-излучения при эксплуатации хранилищ ангарного типа были приняты следующие значения исходя из правил радиационной безопасности и внутренних инструкций:

- 6,0 мкЗв/ч – в зоне контролируемого доступа;
- 1,2 мкЗв/ч – на границе санитарно-защитной зоны.

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.

Излучение 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.

На основании экспериментальных данных была эмпирически получена зависимость мощности дозы гамма-излучения на местности от величины средней мощности дозы от контейнеров НЗК, размещенных в периферийном ряду хранилища:

$$D = \frac{3,6D_0}{(x+20,3)^2} + 0,13 \text{ (мкЗв/ч)}, \quad (1)$$

где D – значение мощности дозы гамма-излучения в заданной точке, отстоящей на расстоянии x от стенки ангара; D_0 – среднее значение мощности дозы от граней контейнеров НЗК, обращенных в сторону точки, где проводится измерение.

Указанная эмпирическая формула получена для хранилища ангарного типа НВАЭС при хранении НЗК штабелем высотой в четыре контейнера. Радионуклидный состав отходов при этом является характерным для РАО АЭС с ВВЭР, выдержанных более 20 лет (^{137}Cs – 80–90 %, ^{60}Co – 10–20 %). При использовании хранилищ иных геометрических размеров либо РАО с иными характеристиками формула подлежит корректировке на основании эмпирических данных при сохранении общей методологии оценки радиационной обстановки.

В соответствии с (1) 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, при этом:

- для расчета D_0 значение мощности дозы измеряется вплотную (0,1 м) от грани НЗК;
- расстояние от грани НЗК до металлической стены ангара составляет порядка 1 м и является принципиальным для обеспечения безопасности;
- усреднение производится от контейнеров, составляющих фрагмент штабеля (восемь контейнеров по горизонтали, четыре контейнера по вертикали);
- установленный контрольный уровень по средней мощности дозы от грани НЗК (10,8 мкЗв/ч) рассчитан с консервативным запасом не менее 20 %,

что позволяет избежать превышения уровня мощности дозы на местности более 6,0 мкЗв/ч за счет возможных флуктуаций активности контейнеров в штабеле от среднего значения.

По результатам выполненных работ в 2014 г. АО «Концерн Росэнергоатом» оформлен патент на изобретение [10].

Допустимая активность радиоактивных отходов в контейнерах, размещаемых в периферийных рядах ангара

Для принятия решения о возможности размещения контейнера в периферийный ряд ангара зачастую более удобным является критерий, основанный на величине активности солевого плава, а не значения мощности дозы гамма-излучения. Для перехода ранее выработанных критериев к значению допустимой величины активности отходов в периферийном ряду использована модель сферического источника с активностью, распределенной по поверхности сферы.

Для указанного источника величина поверхностной активности связана с мощностью дозы соотношением:

$$A_s = \frac{KR}{2\pi\Gamma_\delta r \ln \frac{R+r}{R-r}}, \quad (2)$$

где K – допустимое значение мощности дозы на расстоянии r от периферийного ряда контейнеров; r – радиус эквивалентной сферы; R – расстояние от центра эквивалентной сферы до точки, для которой проводится нормирование; Γ_δ – гамма-постоянная, соответствующая отходам данного радионуклидного состава.

Итоговое значение средней допустимой активности одного внешнего контейнера составляет:

$A_{\text{НЗК}} = 1,512 \times 10^8$ Бк – для ряда, обращенного в сторону ограждения;

$A_{\text{НЗК}} = 2,151 \times 10^8$ Бк – для ряда, обращенного в сторону зоны возможного загрязнения.

Программное обеспечение для прогнозирования радиационной обстановки

Для более точного расчета радиационных полей вокруг хранилища необходимо использовать методику, основанную на представлении каждого цилиндрического контейнера с солевым плавом УГУ в виде отдельного излучателя на основе 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.

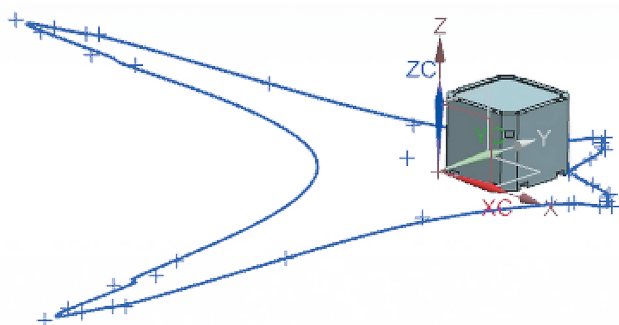


Рис. 4. Программное прогнозирование распределения мощности дозы гамма-излучения от заполненного контейнера НЗК-150-1,5П

[Fig. 4. Software prediction of gamma radiation dose rate distribution from a filled container of NZK-150-1.5P]

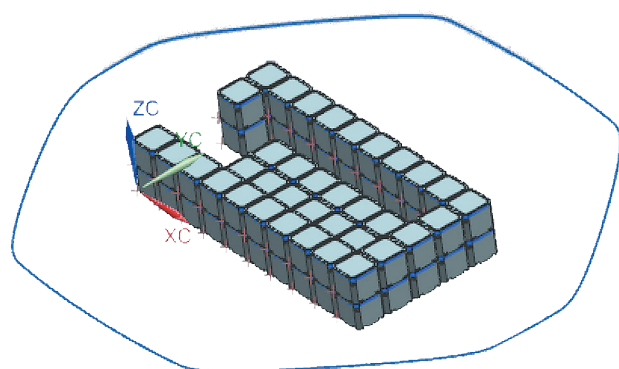


Рис. 5. Результат применения модели: графическое представление области с заданной мощностью дозы гамма-излучения

[Fig. 5. The result of using the model: a graphical representation of the area with a given dose rate of gamma radiation]

На рис. 4, 5 показан результат работы программного модуля, определяющего распределение мощности эквивалентной дозы от контейнера НЗК, заполненного отходами с определенными характеристиками, и штабеля контейнеров НЗК, размещенных в хранилище ангарного типа.

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 НВАЭС. В ходе тестирования было подтверждено, что рассмотренные в работе научные изыскания имеют практическое подтверждение.

Программное обеспечение оценки радиационной обстановки при временном хранении контейнеров НЗК в хранилищах ангарного типа успешно интегрировано с Единой автоматизированной системой учета и контроля радиоактивных веществ и РАО НВАЭС [11].

Заключение

В ходе выполненной работы:

1. Разработан способ временного хранения солевого плава УГУ на площадке АЭС, характеризующийся использованием контейнеров НЗК и легких неотопливаемых хранилищ ангарного типа;
2. Разработана математическая модель оценки радиационной обстановки на местности в зависимости от средней величины мощности дозы гамма-излучения на поверхности радиационных упаковок (контейнеров НЗК), размещаемых в ангаре;
3. Разработан алгоритм оптимизации дозовых полей вокруг ангара при варьировании расположения упаковок, размещаемых в хранилище;
4. Разработано специализированное программное обеспечение для расчета оптимальной загрузки временного хранилища контейнеров с минимизацией радиационных полей на прилегающей территории.

Полученные результаты позволяют широко использовать данную технологию с целью оптимизации этапа временного хранения РАО не только АЭС, но и других предприятий атомной отрасли.

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. Санитарные правила и нормативы. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (с Изменением 1). ОСПОРБ-99/2010: утв. постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 26.04.2010 № 40.
3. 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.

4. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Правила безопасности при обращении с радиоактивными отходами атомных станций. НП-002-15: утв. приказом Ростехнадзора от 30.01.2015 № 35.

5. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Сбор, переработка, хранение и кондиционирование жидких радиоактивных отходов. Требования безопасности. НП-019-15: утв. приказом Ростехнадзора от 25.06.2015 № 242, с изм., внесенными приказом Ростехнадзора от 13.09.2021 № 299.

6. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Безопасность при обращении с радиоактивными отходами. Общие положения. НП-058-14: утв. приказом Ростехнадзора от 05.08.2014 № 347, с изм., внесенными приказом Ростехнадзора от 22.11.2018 № 582.

7. Росновский С. В., Булка С. К. Методология кондиционирования отвержденных радиоактивных отходов с применением контейнеров НЗК с хранением в легких хранилищах ангарного типа / Сборник трудов 8-й Международной научно-технической конференции «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР» (28–31 мая 2013 г.). – Подольск, 2013.

8. Гатауллин Р. М., Давиденко Н. Н., Свиридов Н. В., Сорокин В. Т. и др.; под ред. В. Т. Сорокина. Контейнеры для радиоактивных отходов низкого и среднего уровня активности: монография. – М.: Логос, 2012. – 256 с.

9. Росновский С. В., Булка С. К. Прогнозирование радиационной обстановки при хранении кондиционированных РАО в хранилищах ангарного типа // Теплоэнергетика. 2014. Выпуск 61. № 2. С. 47–54. DOI: 10.1134/S0040363614020118.

10. Патент RU 2530538 С2 Российская Федерация. Способ временного хранения радиоактивных отходов / Поваров В. П., Щукин А. П., Наливайко Е. М., Прытков А. Н., Росновский С. В.; заявка от 08.06.2012.

11. 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. Выпуск 61. № 2. С. 76–83. DOI: 10.1134/S0040363614020027.

References

1. Sobolev A. I. Bezopasnoe obrashchenie s radioaktivnymi otkhodami: sovremennaya deyatel'nost' MAGATEH [Safe handling of radioactive waste: modern activities of the IAEA]. Radioaktivnye otkhody – Radioactive waste, 2019, no. 2 (7), pp. 41–48 [in Russian]. DOI: 10.25283/2587-9707-2019-2-41-48.

2. Sanitarnye pravila i normativy “Osnovnye sanitarnye pravila obespecheniya radiatsionnoi bezopasnosti” (s Izmeneniem 1) (OSPORB-99/2010) [Sanitary rules and regulations “Basic Sanitary Rules for Radiation Safety” (with Amendment 1) (OSPORB-99/2010)]. 2010.

3. Nalivaiko E. M., Rosnovsky S. V. Gotovy k rabote s Natsional'nym operatorom. Organizatsiya obrashcheniya s otverzhdennymi RAO na Novovoronezhskoi AEHS [Ready to work with the National Operator. Organization of treatment of solidificated RAW at Novovoronezh NPP]. Rosenergoatom – Rosenergoatom, 2010, no. 8, pp. 32–35 [in Russian].

4. Federal'nye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoj energii “Pravila bezopasnosti pri obrashchenii s radioaktivnymi otkhodami atomnykh stantsii” (NP-002-15) [Federal Standards and Rules in the Field of Atomic Energy Use “Safety Rules During Treatment of Radioactive Wastes from Nuclear Power Plants” (NP-002-15)]. 2015.

5. Federal'nye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoj energii “Sbor, pererabotka, khranenie i konditsionirovanie zhidkikh radioaktivnykh otkhodov. Trebovaniya bezopasnosti” (NP-019-15) [Federal Standards and Rules in the Field of Atomic Energy Use “Collection, Processing, Storage and Conditioning of Liquid Radioactive Waste. Safety Requirements” (NP-019-15)]. 2015.

6. Federal'nye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoj energii “Bezopasnost' pri obrashchenii s radioaktivnymi otkhodami. Obshchie polozheniya” (NP-058-14) [Federal Standards and Rules in the Field of Atomic Energy Use “Safety in Radioactive Waste Management. General Provisions” (NP-058-14)]. 2014.

7. Rosnovsky S. V., Bulka S. K. (2013). Metodologiya konditsionirovaniya otverzhdennykh radioaktivnykh otkhodov s primeneniem konteinerov NZK s khraneniem v legkikh khranilishchakh angarnogo tipa [Methodology of conditioning of solidified radwastes with application of NZK casks and light metal interim storages]. Sbornik trudov 8-i Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii “Obespechenie bezopasnosti AEHS

s VVEHR” (28–31 мая 2013 г.) – Proceedings of the 8th International scientific and technical conference “Safety Assurance of NPP with VVER” (May 28–31, 2013), Podolsk [in Russian].

8. Gataullin R. M., Davidenko N. N., Sviridov N. V., Sorokin V. T., et al. (2012). Konteinery dlya radioaktivnykh otkhodov nizkogo i srednego urovnya aktivnosti: monografiya [Containers for low- and medium-level radioactive waste: monograph], edited by V. T. Sorokin. – Moscow: Logos [in Russian].

9. Rosnovsky S. V., Bulka S. K. Prognozirovaniye radiatsionnoi obstanovki pri khraneniі konditsionirovannykh RAO v khranilishchakh angarnogo tipa [Forecasting of the radiation situation during storage of conditioned radioactive waste in hangar-type storage facilities]. Teploehnergetika – Thermal Engineering, 2014, issue 61, no. 2, pp. 47–54 [in Russian]. DOI: 10.1134/S0040363614020118.

10. Patent RU 2530538 C2 Russian Federation. Sposob vremennogo khraneniya radioaktivnykh otkhodov [Method of temporary storage of radioactive waste]. Povarov V. P., Shchukin A. P., Nalivayko E. M., Pрыtkov A. N., Rosnovsky S. V.; application dated 08.06.2012.

11. Bulka S. K., Rosnovsky S. V. Opyt Novovoronezhskoi AEHS po razrabotke i vnedreniyu Edinoi avtomatizirovannoi sistemy ucheta i kontrolya radioaktivnykh veshchestv i radioaktivnykh otkhodov [Experience of Novovoronezh NPP in the development and implementation of a unified automated system for accounting and control of radioactive substances and radioactive waste]. Teploehnergetika – Thermal Engineering, 2014, issue 61, no. 2, pp. 76–83 [in Russian]. DOI: 10.1134/S0040363614020027.

Сведения об авторах

Поваров Владимир Петрович, директор филиала АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская АЭС» (396072, Воронежская область, г. Нововоронеж, промышленная зона Южная, д. 1).

Росновский Сергей Викторович, заместитель главного инженера по радиационной защите филиала АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская АЭС» (396072, Воронежская область, г. Нововоронеж, промышленная зона Южная, д. 1).

Authors credentials

Povarov Vladimir Petrovich, Director of the Novovoronezh NPP branch of Rosenergoatom Concern JSC (1, Yuzhnaya industrial zone, Novovoronezh, Voronezh region, 396072), e-mail: PovarovVP@nvnpp1.rosenergoatom.ru.

Rosnovsky Sergei Viktorovich, Deputy Chief Engineer for Radiation Protection of the Novovoronezh NPP branch of Rosenergoatom Concern JSC (1, Yuzhnaya industrial zone, Novovoronezh, Voronezh region, 396072), e-mail: RosnovskySV@nvnpp1.rosenergoatom.ru.

Для цитирования

Поваров В. П., Росновский С. В. Некоторые аспекты обеспечения радиационной безопасности при временном хранении радиоактивных отходов в невозвратных защитных контейнерах в легких хранилищах ангарного типа // Ядерная и радиационная безопасность. 2021. № 4 (102). С. 5–12. DOI: 10.26277/SECNRS.2021.102.4.001.

For citation

Povarov V. P., Rosnovsky S. V. Some aspects of insuring radiation safety during the temporary storage of radioactive waste in non-returnable protective containers in light hangar-type storage facilities. Nuclear and Radiation Safety, 2021, no. 4 (102), pp. 5–12. DOI: 10.26277/SECNRS.2021.102.4.001 [in Russian].

