

### РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ИЗВЛЕЧЕНИЮ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЮ И УПАКОВКЕ ОТРАБОТАВШИХ ЗАКРЫТЫХ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ, НАХОДЯЩИХСЯ НА ДОЛГОВРЕМЕННОМ ХРАНЕНИИ В ХРАНИЛИЩАХ КОЛОДЕЗНОГО ТИПА СПЕЦПРЕДПРИЯТИЯ УП «ЭКОРЕС»

Н. Д. Кузьмина, Н. В. Горбачева, В. И. Орловская, А. В. Кузьмин

Государственное научное учреждение «Объединённый институт энергетических и ядерных исследований — Сосны» Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь

Статья поступила в редакцию 20 января 2026 г.

*В статье сформированы рекомендации по извлечению, кондиционированию и упаковке отработавших закрытых источников ионизирующего излучения (ИИИ), находящихся на долговременном хранении в хранилищах колодезного типа спецпредприятия УП «Экорес». Они учитывают основные требования нормативно-правовых актов Республики Беларусь в части обеспечения безопасности при захоронении радиоактивных отходов (РАО) и отработавших ресурс закрытых ИИИ, в том числе к их классификации, соответствию вида отходов способу изоляции, радиационным характеристикам, контейнерам и упаковкам для захоронения. Приведены последовательности взаимосвязанных операций по обращению с различными типами закрытых отработавших ИИИ, которые рекомендуется выполнять для приведения РАО в соответствие с критериями приемлемости и передачи их на захоронение.*

**Ключевые слова:** долговременное хранение, закрытые источники ионизирующего излучения, контейнер, критерии приемлемости, радиоактивные отходы.

#### Введение

Стратегия обращения с радиоактивными отходами [1], утвержденная постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 15.02.2023 № 128, предусматривает сооружение централизованного пункта захоронения для всех видов имеющихся и образуемых в стране РАО. Одним из источников их поступления являются институциональные РАО, перемещаемые из специализированного предприятия по обращению с радиоактивными отходами УП «Экорес» (далее — спецпредприятие УП «Экорес»).

Оно расположено в 2 км от города Минска и создано в 1963 г. для размещения РАО от деятельности исследовательского реактора бывшего Института ядерной энергетики Академии наук БССР. Ежегодно спецпредприятие УП «Экорес» принимает до 10 тонн твердых радиоактивных отходов (ТРО) и до 3 тыс. отработавших свой ресурс закрытых ИИИ [2].

В настоящее время оно является сложным радиационно опасным объектом, на площадке которого расположены:

- два законсервированных и обвалованных приповерхностных хранилища ТРО заглубленного типа «первого поколения» внутренним объемом 200 м<sup>3</sup>;
- два приповерхностных хранилища ТРО заглубленного типа «второго поколения» внутренним объемом 200 м<sup>3</sup> (подземные монолитные блоки из 8 емкостей каждый);
- четыре законсервированных хранилища отработавших закрытых ИИИ колодезного типа внутренним объемом 0,2 м<sup>3</sup>;
- эксплуатируемое хранилище кондиционированных ТРО наземного типа;
- эксплуатируемое хранилище для отработавших закрытых ИИИ, оборудованное 11 колодцами для загрузки источников различного радионуклидного состава (6 колодцев для гамма- и 4 для альфа- и бета-излучающих, 1 — для нейтронных);
- корпус переработки РАО с лабораториями (эксплуатируется с 2013 г.).

По экспертным оценкам, по состоянию на 2020 г. суммарная активность РАО, размещенных в законсервированных и выводимых из эксплуатации хранилищах спецпредприятия УП «Экорес», составила  $1,27 \cdot 10^{16}$  Бк [3].

По результатам проведенного в 2019 г. комплексного инженерного и радиационного обследования хранилищ РАО «первого» и «второго» поколений дана оценка остаточных ресурсов их строительных конструкций — от 18 до 27 лет. До истечения указанного срока законсервированные, а также действующие хранилища подлежат выводу из эксплуатации. В связи с этим необходимо поэтапно осуществить работы по извлечению из них РАО с последующим приведением в формы, удовлетворяющие критериям приемлемости для захоронения в планируемом к сооружению пункте захоронения радиоактивных отходов (ПЗРО) [4]. Вывод из эксплуатации пунктов хранения/захоронения РАО и подготовка к нему представляют собой длительный по времени процесс с большим объемом работ по выполнению комплекса организационных, технических и гигиенических мероприятий, направленных на последовательное обеспечение радиационной безопасности персонала и населения, а также охрану окружающей среды. Радиационный контроль при этом характеризуется наличием большого количества ИИИ, а также значительным объемом проводимых радиационно опасных работ [5].

В соответствии с требованиями документа [6], планирование вывода из эксплуатации путем разработки и последующей актуализации его концепции должно осуществляться на всех

стадиях жизненного цикла пункта хранения РАО, предшествующих ему. В настоящее время данный проект для спецпредприятия УП «Экорес» отсутствует, что является нарушением требований документа [6] и влечет за собой соответствующие предписания регулирующего органа в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности.

Целью данной статьи является представление рекомендаций по извлечению, кондиционированию и упаковке отработавших закрытых ИИИ, находящихся на долговременном хранении в хранилищах колодезного типа спецпредприятия УП «Экорес».

К разработке технических решений была привлечена ведущая российская организация — интегратор Госкорпорации «Росатом» по выводу из эксплуатации ядерно и радиационно опасных объектов и обращению с сопутствующими радиоактивными отходами — АО «ТВЭЛ».

#### Анализ основных требований к обеспечению безопасности при захоронении радиоактивных отходов

Поступающие на захоронение РАО должны соответствовать общим критериям приемлемости для захоронения, установленным нормами и правилами по обеспечению ядерной и радиационной безопасности «Критерии приемлемости радиоактивных отходов для захоронения» [7] и определяющими условия, достаточные для передачи их в эксплуатирующую ПЗРО организацию. Методы и средства приведения РАО в соответствие критериям приемлемости для захоронения, в том числе методы и средства их переработки и кондиционирования, включая изготовление упаковки, устанавливаются в проектной и (или) эксплуатационной документации организации, в результате деятельности которой образовались отходы, и (или) специализированной организации по обращению с ними, осуществляющей переработку и кондиционирование [8].

Согласно нормам и правилам по обеспечению ядерной и радиационной безопасности «Безопасность при обращении с радиоактивными отходами. Общие положения» [8], кондиционирование РАО — операции по изготовлению упаковки РАО, приемлемой для манипулирования, хранения, перевозки, долговременного хранения и (или) захоронения. Конструкция контейнера и его конструкционные материалы должны обеспечивать сохранение прочностных характеристик и герметичности в период обращения с упаковкой РАО, а также обладать минимальной сорбционной способностью по отношению к

радионуклидам, коррозионной и радиационной стойкостью, термической устойчивостью, легко дезактивироваться. Целесообразно использование унифицированных по типу и размеру контейнеров.

Отработавшие свой ресурс закрытые ИИИ могут захораниваться в составе упаковки РАО, если иное не установлено критериями приемлемости для определенного ПЗРО. Требования к ним и контейнерам (упаковочным комплектам) приведены в документе [7]. Согласно его приложению 1, необходимо, чтобы упаковки РАО всех классов при обращении с ними при нормальной эксплуатации ПЗРО сохраняли целостность и ограничивали выход ионизирующего излучения и радиоактивного содержимого установленными пределами, а также тепловыделение и активность отработавших свой ресурс закрытых ИИИ не приводили к снижению механических, защитных и изолирующих характеристик упаковки РАО, содержащей отработавшие свой ресурс закрытые ИИИ, относительно пределов, установленных в соответствии с приложением 1 к документу [7].

Основополагающим элементом системы обращения с РАО является их классификация. В соответствии с нормами и правилами по обеспечению ядерной и радиационной безопасности [8], способ захоронения отработавших закрытых ИИИ (приповерхностный или глубокий) определяется исходя из классификации отработавших закрытых ИИИ по степени радиационной опасности (категории 1–5), а также периода полураспада радионуклидов, содержащихся в РАО, и их тепловыделения. Отнесение ИИИ к категориям по степени радиационной опасности осуществляется пользователем ИИИ или эксплуатирующей организацией в соответствии с требованиями документа [9].

**Таблица 1. Выбор вида ПЗРО в зависимости от категории по степени радиационной опасности отработавшего закрытого ИИИ**

Вид пункта захоронения РАО	Категория отработавших закрытых ИИИ по степени радиационной опасности
Пункт глубокого захоронения РАО без предварительной выдержки в целях снижения их тепловыделения	Отработавшие закрытые ИИИ категорий 1 и 2 по степени радиационной опасности
Пункт приповерхностного захоронения радиоактивных отходов, размещаемый на глубине до 100 м	Отработавшие закрытые ИИИ категории 3 по степени радиационной опасности
Пункт приповерхностного захоронения радиоактивных отходов, размещаемый на одном уровне с поверхностью земли	Отработавшие закрытые ИИИ категорий 4 и 5 по степени радиационной опасности

В целях соблюдения требований безопасности при захоронении РАО по подтверждению способности упаковки ограничивать их воздействие на человека и окружающую среду проведено сопоставление между категориями по степени радиационной опасности отработавшего закрытого ИИИ и способами захоронения РАО, установленными документом [8]. Результаты сопоставления приведены в табл. 1.

### Основные подходы и рекомендации применительно к разработке технологии извлечения, кондиционирования и упаковок отработавших закрытых ИИИ из хранилищ спецпредприятия УП «Экорес»

Необходимо отметить, что разработка технологий извлечения и переработки РАО из хранилищ спецпредприятия УП «Экорес» усложняется необходимостью проведения работ в напряженных радиационных условиях при обращении с самой разнообразной номенклатурой радиоактивных веществ, представляющих собой конгломерат из различных материалов (пластмасса, стекло, металл, ветошь и т. д.), загрязненных как короткоживущими, так и долгоживущими радионуклидами, включая закрытые ИИИ гамма- и нейтронного излучения, радиоизотопные извещатели дыма, содержащие  $^{239}\text{Pu}$ , соли  $^{226}\text{Ra}$  и т. д.

При этом необходимо решить следующий комплекс задач:

- максимально механизировать операции технологического процесса извлечения РАО для обеспечения приемлемых требований радиационной безопасности персонала, привлекаемого для этих работ;
- обеспечить сотрудникам необходимые санитарно-гигиенические условия, предусмотренные санитарными правилами;
- минимизировать воздействие проводимых мероприятий на окружающую среду, исключить радиоактивное загрязнение территории спецпредприятия УП «Экорес»;
- произвести переработку извлеченных РАО, включая их компактирование, контейнеризацию и др.

Наиболее трудноразрешимой задачей является выбор технологии извлечения из хранилищ колодезного типа РАО, размещенных в хранилищах «второго поколения» спецпредприятия УП «Экорес», при загрузке которых сортировка ИИИ по активности и периоду полураспада не выполнялась, поэтому в них находится значительное количество источников на основе долгоживущего  $^{226}\text{Ra}$ . В связи с потерей герметичности их оболочек и выходом радона в высокие

концентрациях в 2003 году силами специалистов ФГУП «РАДОН» были выполнены работы по включению отработавших ИИИ в металлическую матрицу — сплав Розе (олово — 25 %, свинец — 25 %, висмут — 50 %). В одном из хранилищ такая иммобилизация не была проведена, поскольку технологический канал колодца в период эксплуатации был закупорен застрявшим длинномерным источником, после чего был заполнен металлической (свинцовой) дробью [10].

Контейнер для кондиционирования отработавших закрытых ИИИ должен обеспечивать возможность их долговременного хранения, извлечения из хранилища в конце установленного периода, размещение в дополнительную упаковку (при необходимости), транспортирование на захоронение. При этом необходимо, чтобы максимальное значение мощности дозы излучения в любой точке на поверхности контейнера составляло не более 2 мЗв/ч, а на расстоянии 1 м от него — 0,1 мЗв/ч, температура в приемном резервуаре с радионуклидными источниками излучения — не более 250 °С. Контейнер должен соответствовать требованиям к транспортной упаковке категории III [11].

Анализ упаковок для транспортирования, кондиционирования и захоронения (долговременного хранения) РАО, используемых в Российской Федерации [12]—[14], показал, что для изоляции отработавших закрытых ИИИ в защитных блоках и без них рекомендуется использовать контейнер КМЗ-РНИ-РАДОН, разработанный и сертифицированный специалистами ФГУП «РАДОН» [13].

Для хранения отработавших закрытых ИИИ в металлической матрице (металлоблоку) предлагается использовать перспективный контейнер УКХ ПВ, который в настоящее время находится на стадии разработки [14].

### Контейнер КМЗ-РНИ-РАДОН

Специализированный упаковочный комплект КМЗ-РНИ-РАДОН, в отличие от хранилища колодезного типа, обеспечивает возможность для упаковки РАО:

- извлечения из хранилища в конце периода хранения;
- размещения в дополнительный контейнер или переупаковку при необходимости;
- транспортирования на захоронение;
- обращения при захоронении.

Упаковочный комплект (рис. 1) состоит из внутреннего контейнера, имеющего емкость для размещения источников с биологической защитой из свинца толщиной 250—300 мм. Для загрузки отработавших закрытых ИИИ предусмотрена изогнутая загрузочная труба,

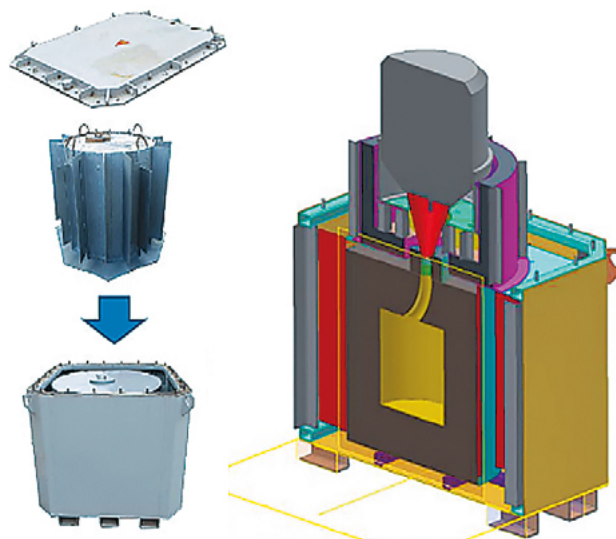


Рис. 1. Конструкция контейнера КМЗ-РНИ-РАДОН

закрываемая пробкой. Для защиты от воздействия факторов окружающей среды и унификации операций по обращению с РАО внутренний защитный контейнер размещен в защитном контейнере, внешне идентичном стандартному металлическому контейнеру для РАО типа КМЗ-РАДОН. Биологическая защита из свинца позволяет обеспечить мощность эквивалентной дозы (МЭД) гамма-излучения на поверхности упаковочного комплекта и на расстоянии 1 м, не превышающей предел в 0,1 мЗв/ч.

Формирование упаковки на основе контейнера КМЗ-РНИ-РАДОН требуется выполнять в условиях постоянного радиационного контроля. При достижении МЭД величины 2 мЗв/ч на расстоянии 0,1 м от его любой точки загрузку отработавших ИИИ следует прекратить.

Технические характеристики контейнера приведены в табл. 2.

Таблица 2. Характеристики контейнера КМЗ-РНИ-РАДОН

Характеристики	Показатель
Объем внутреннего резервуара для отработавших ИИИ, м <sup>3</sup>	0,08
Номинальная активность, Бк	$3,70 \cdot 10^{15}$
Максимальные габариты единичного отработавшего ИИИ, мм	Ø38×200
Масса пустого упаковочного комплекта, т	9,0
Масса заполненного упаковочного комплекта, т	10,0
Внешние размеры (длина×ширина×высота), мм	1670×1670×1375 [13]

С помощью программного средства MicroShield 8.03 проведен расчет радиационных полей

упаковки на базе невозвратного контейнера типа КМЗ для бетонной призмы с дополнительной свинцовой защитой при ее общей массе около 12 т. По результатам расчета максимальная активность размещаемых отработавших ИИИ  $^{60}\text{Co}$  составила порядка  $1,1 \cdot 10^{15}$  Бк в зависимости от плотности бетона и толщины свинцовой защиты при удельном тепловыделении до 5,8 Вт/л и температуре в резервуаре отработавших источников до 150–250 °С, со снижением тепловыделения до 1,6 Вт/л и температуры до 50–100 °С через 10 лет в зависимости от теплопроводности бетона. Величина расчетной максимальной активности размещаемых отработавших закрытых ИИИ  $^{60}\text{Co}$  согласуется с данным предельно допустимым показателем для контейнера КМЗ-РНИ-РАДОН, установленным в сертификате [13].

### Контейнер УКХ ПВ

Контейнер УКХ ПВ, находящийся в настоящее время на стадии проектирования в Российской Федерации, предназначен для хранения отработавших тепловыделяющих сборок (ТВС), а также пеналов с остеклованной высокоактивной короткоживущей фракцией РАО от переработки отработавшего ядерного топлива Белорусской АЭС. Предполагается, что он (рис. 2) будет оснащен двумя видами вставок: дистанцирующей решеткой, позволяющей размещать в нем либо отработавшие ТВС, либо пеналы объемом 100 л, содержащие остеклованные ВАО [14].

Поскольку суммарная активность каждого из металлоблоков, извлекаемых из хранилищ

отработавших закрытых ИИИ спецпредприятия УП «Экорес», превышает установленную предельную активность РАО, которые допускаются к размещению в контейнере КЗХ-2кс-01 ( $4,00 \cdot 10^{11}$  Бк — по  $^{60}\text{Co}$  и  $7,00 \cdot 10^{11}$  Бк — по  $^{137}\text{Cs}$ ), в рамках данной работы контейнер УКХ ПВ предлагается использовать для их временного хранения в металлической матрице (металлоблоке), при условии изменения конструкции вставки — дистанцирующей решетки.

Характеристики контейнера приведены в табл. 3.

Таблица 3. Характеристики контейнера УКХ ПВ

Характеристики	Показатель
Материал основного корпуса	Высокопрочный чугун с шаровидным графитом
Диаметр, мм	2900,0
Высота с демпферами, мм, не более	7174,0
Толщина стенки корпуса, мм, не менее;	235,0
в районе цапф, мм, не менее	190,0

Дополнительно проведенный анализ соответствия упаковок РАО критериям приемлемости для захоронения показал, что контейнер КМЗ-РНИ-РАДОН соответствует общим критериям приемлемости для захоронения, а УКХ ПВ изначально проектируется для временного хранения РАО и не предназначен для захоронения.

Альтернативным решением для организации долговременного хранения металлоблоков, извлеченных из хранилищ УП «Экорес», может быть изготовление соответствующего контейнера по индивидуальному заказу с учетом геометрических размеров и активности РАО. Также не должен исключаться из рассмотрения вариант отложенного решения, что позволит вернуться к вопросу дальнейшего обращения с РАО через определенное время в случае положительных предпосылок (появления эффективных технологий, экономических факторов).

### Производственно-технологические цепочки по обращению с различными типами закрытых отработавших ИИИ

При освобождении хранилищ спецпредприятия УП «Экорес» будут образовываться следующие виды РАО отработавших закрытых ИИИ с точки зрения морфологического состава: в защитных блоках (контейнерах); без защитных блоков (контейнеров); в металлической матрице (металлоблоки) [4], [10].

Ниже приведены последовательности взаимосвязанных операций (производственно-технологические цепочки — ПТЦ) по обращению

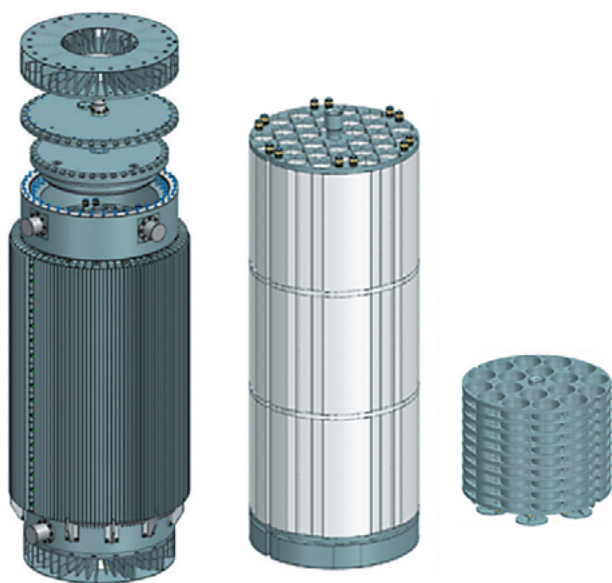


Рис. 2. Предполагаемая конструкция двухцелевого контейнера УКХ ПВ со вставками для хранения ОТВС и пеналов с остеклованными ВАО

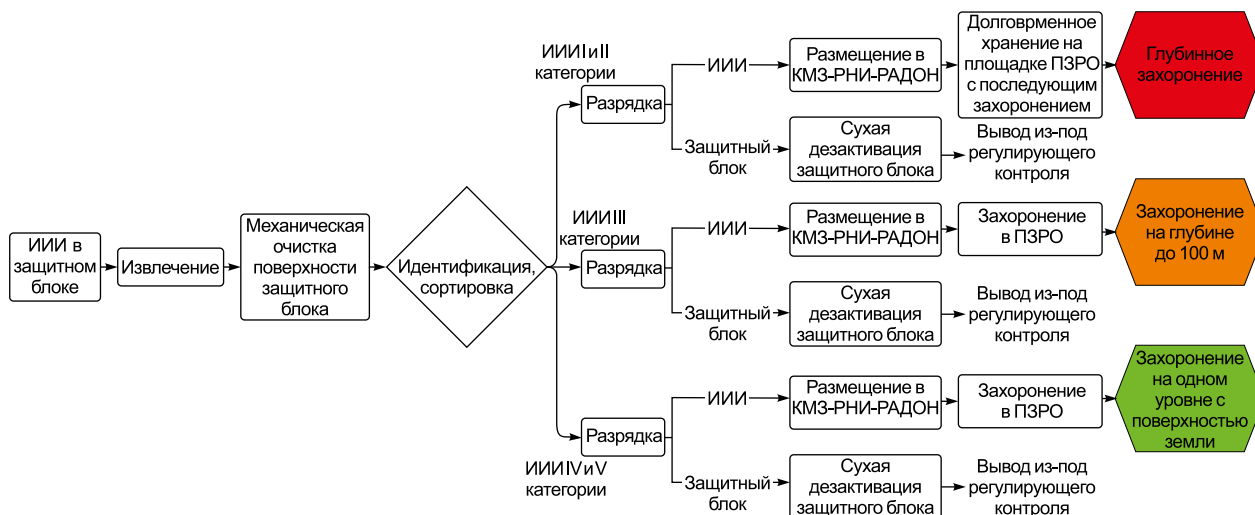


Рис. 3. ПТЦ № 1 «Обращение с отработавшими закрытыми ИИИ в защитном блоке»

с различными типами закрытых отработавших ИИИ, которые рекомендуется выполнять для приведения РАО в соответствие с критериями приемлемости и передачи их на захоронение.

#### ПТЦ № 1 «Обращение с отработавшими закрытыми ИИИ в защитном блоке» (рис. 3)

Активность отработавшего закрытого ИИИ устанавливается либо расчетным методом по паспортным данным (при возможности идентификации конкретного источника), либо методом спектрометрического анализа (при невозможности идентификации).

Извлеченные отработавшие закрытые ИИИ разряжаются в контейнер, аналогичный по характеристикам КМЗ-РАДОН, с постоянным контролем значения показателя А/D (активность ИИИ, приведенная к показателю опасности радионуклида для каждого отдельно взятого из них) и определением категории по степени радиационной опасности в соответствии с документом [9]. После заполнения отработавшими закрытыми ИИИ и иммобилизирующим материалом приемной емкости, контейнеры типа КМЗ-РНИ-РАДОН отправляют на временное хранение (захоронение) до достижения предельного уровня комплектации или максимума активности.

Защитные блоки (контейнеры) отработавших ИИИ перемещаются на сухую дезактивацию (например, с помощью полимерных покрытий) и, при соответствии радиационных показателей действующим в Республике Беларусь нормам, освобождаются от контроля в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности. Дальнейшее обращение с ними осуществляется как с нерадиоактивными отходами.

При размещении отработавших закрытых ИИИ в контейнер типа КМЗ-РНИ-РАДОН следует одновременно соблюдать следующие граничные условия:

- их суммарная активность не должна превышать  $3,7 \cdot 10^{15}$  Бк, в соответствии с предельно допустимым показателем активности для контейнера, установленным в [13];
- консервативно принято, что количество размещенных отработавших закрытых ИИИ не должно превышать 4 000 шт.

Граничное условие по количеству отработавших закрытых ИИИ рассчитано исходя из следующих соображений:

- полезный объем приемной емкости контейнера типа КМЗ-РНИ-РАДОН при номинальном объеме  $0,08 \text{ м}^3$  [14] и условии заполнения на 90 % составляет  $0,072 \text{ м}^3$ ;
- усредненная масса одного отработавшего закрытого ИИИ равна  $0,000025 \text{ т}$ ;
- их усредненная насыпная плотность —  $1,67 \text{ т/м}^3$ ;
- расчетное количество источников принято с экспертно определенным коэффициентом  $0,833$  для заполнения приемной емкости иммобилизирующим составом.

#### ПТЦ № 2 «Обращение с отработавшими закрытыми ИИИ без защитного блока» (рис. 4)

Такие источники, размещенные в хранилищах спецпредприятия УП «Экорес», предлагается извлекать, сортировать по типу излучения ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ), определять их активность и, соответственно, категорию по степени радиационной опасности. Дальнейшее обращение с отработавшими закрытыми ИИИ осуществляется аналогично ПТЦ № 1.

Длинномерный ИИИ, застрявший в приемной трубе одного из колодцев хранилища спецпредприятия УП «Экорес», после извлечения

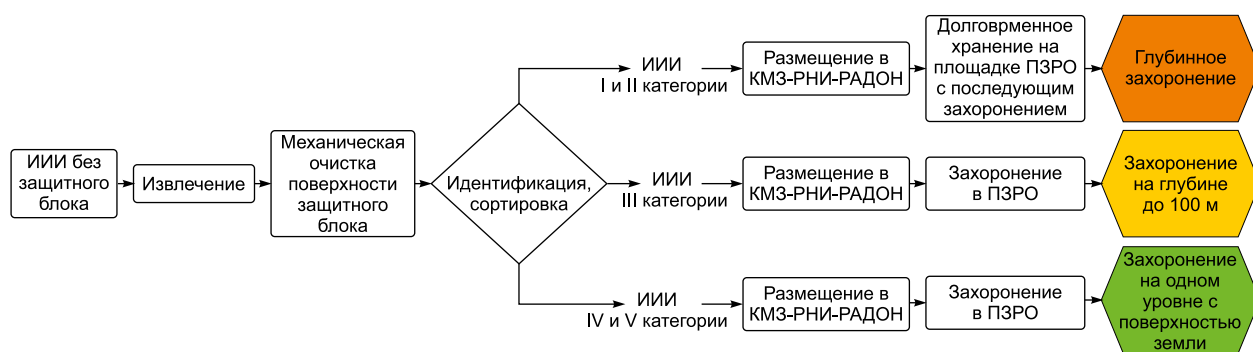


Рис. 4. ПТЦ № 2 «Обращение с отработавшими закрытыми ИИИ без защитного блока»

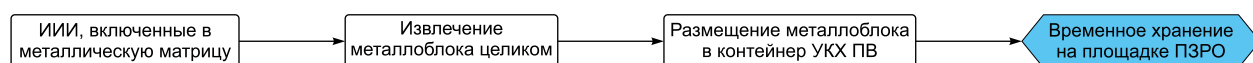


Рис. 5. ПТЦ № 3 «Обращение с отработавшими закрытыми ИИИ, включенными в металлическую матрицу»

подлежит резке на фрагменты, не превышающие по длине 200 мм, и по размещению в контейнер типа КМЗ-РНИ-РАДОН. Максимально допустимая длина фрагмента установлена в соответствии с параметрами его загрузочной трубы [14].

### ПТЦ № 3 «Обращение с отработавшими закрытыми ИИИ, включенными в металлическую матрицу (сплав Розе)» (рис. 5)

Данные источники из хранилищ отработавших закрытых ИИИ спецпредприятия УП «Экорес» извлекаются одним блоком и размещаются целиком в контейнер УКХ ПВ, который после заполнения направляется на временное хранение на площадку планируемого ПЗРО.

### Заключение

При разработке рекомендаций по извлечению и кондиционированию отработавших закрытых ИИИ, находящихся в хранилищах спецпредприятия УП «Экорес», проведен анализ нормативно-правовых актов Республики Беларусь, содержащих требования к обеспечению безопасности при захоронении РАО, включая требования к классификации отходов и отработавших ресурс источников излучения, соответствию их вида способу захоронения, радиационным характеристикам, упаковкам для захоронения и контейнерам.

Для приведения РАО в соответствие с критериями приемлемости и передачи их на захоронение рекомендованы производственно-технологические цепочки по обращению с различными типами отработавших закрытых ИИИ, методам их кондиционирования и захоронения (хранения).

На основании проведенного анализа предложено выбрать для захоронения (долговременного хранения) закрытых отработавших ИИИ

спецпредприятия УП «Экорес» сертифицированный, разработанный специалистами ФГУП «РАДОН» контейнер КМЗ-РНИ-РАДОН. Для хранения источников, включенных в металлическую матрицу (металлоблоков), предлагается использовать перспективный контейнер УКХ ПВ, который в настоящее время находится на стадии разработки.

Данные рекомендации могут быть использованы в качестве исходной информации для создания предпроектной и проектной документации на сооружение ПЗРО в Республике Беларусь, а также как основа для разработки концепции вывода из эксплуатации спецпредприятия УП «Экорес».

### Литература

1. Об утверждении Стратегии обращения с радиоактивными отходами : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 15 февр. 2023 г. № 128. Доступ из информ.-правовой системы «Эталон online».
2. Восьмой национальный доклад Республики Беларусь о выполнении Объединенной конвенции о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами / МЧС Респ. Беларусь — URL: <https://gosatomnadzor.mchs.gov.by/upload/iblock/b15/zprempr84bkgpuf785eawc993qhpq51s/8-Natsionalnyy-doklad-Respubliki-Belarus.pdf> (дата обращения: 15.01.2026).
3. Zhemzhurov M. L., Kuzmina N. D., Kuzmin A. V., Yarashevich K. A. Estimation of radioactive waste activity in storage facilities of «Ekores» // Nonlinear Phenomena in Complex Systems. 2020. No. 4. Pp. 414–427. DOI: 10.33581/1561-4085-2020-23-4-414-427.
4. Жемжуров М. Л., Кузьмина Н. Д. Анализ результатов выполненного комплексного инженерного

и радиационного обследования законсервированных и выводимых из эксплуатации хранилищ радиоактивных отходов УП «Экорес» // Материалы 8-й Междунар. конф. «Атомная энергетика, ядерные и радиационные технологии 21-го века». 2020. С. 142–149.

5. Нормы безопасности МАГАТЭ для защиты людей и охраны окружающей среды. Вывод из эксплуатации установок. Общие требования безопасности, часть 6. International Atomic Energy Agency. — URL: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1652r\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1652r_web.pdf) (дата обращения: 12.01.2026).

6. Требования к обеспечению безопасности при выводе из эксплуатации пунктов хранения радиоактивных отходов : постановление Министерства по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь от 22 февр. 2019 г. № 25. Доступ из информ.-правовой системы «Эталон online».

7. Критерии приемлемости радиоактивных отходов для захоронения: нормы и правила по обеспечению ядерной и радиационной безопасности : постановление Министерства по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь от 16 июля 2019 г. № 47. Доступ из информ.-правовой системы «Эталон online».

8. Безопасность при обращении с радиоактивными отходами : постановление Министерства по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь от 28 сент. 2010 г. № 47. Доступ из информ.-правовой системы «Эталон online». Респ. Беларусь.

9. Инструкция о порядке и критериях отнесения источников ионизирующего излучения к категориям по степени радиационной опасности : постановление Министерства по чрезвычайным

ситуациям Респ. Беларусь от 28 янв. 2021 г. № 4. Доступ из информ.-правовой системы «Эталон online».

10. Жемжуров М. Л., Кузьмина Н. Д., Грибанова К. А. Разработка концепции вывода из эксплуатации спецпредприятия по обращению с радиоактивными отходами УП «Экорес» // Материалы 8 Междунар. конф. «Атомная энергетика, ядерные и радиационные технологии 21-го века». 2020. С. 27–36.

11. Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при транспортировании радиоактивных материалов (веществ) : постановление Главного государственного санитарного врача Респ. Беларусь от 30 дек. 2005 г. № 284. Доступ из информ.-правовой системы «Эталон online».

12. Диордий М. Н., Семенова В. Е., Карлина О. К. Комплекс для сбора, транспортирования, хранения и захоронения отработавших источников ионизирующего излучения // Радиоактивные отходы. 2018. № 2 (3). С. 73–78.

13. Сертификат-разрешение на конструкцию упаковочных комплектов транспортных КМЗ-РНИ-РАДОН и перевозку в них радиоактивных материалов. RUS/1073/B(U)-96T. — М. : Госкорпорация «Росатом», 2015. 7 с.

14. Развитие контейнеров для отработавшего ядерного топлива энергетических реакторов типа ВВЭР с 2016 года и на горизонте до 2035 г. // Атомная энергия 2.0 : науч.-деловой портал. 2008. — URL: <https://www.atomic-energy.ru/articles/2024/09/10/148913> (дата обращения: 12.01.2026).

## Информация об авторах

Кузьмина Наталья Дмитриевна, начальник научно-исследовательского отдела, Государственное научное учреждение «Объединённый институт энергетических и ядерных исследований — Сосны» Национальной академии наук Беларуси (220109, Республика Беларусь, Минск, а/я 119), e-mail: [ndkuzmina@sosny.bas-net.by](mailto:ndkuzmina@sosny.bas-net.by).

Горбачева Наталья Владимировна, кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Государственное научное учреждение «Объединённый институт энергетических и ядерных исследований — Сосны» Национальной академии наук Беларуси (220109, Республика Беларусь, Минск, а/я 119), e-mail: [lab03natallia@sosny.bas-net.by](mailto:lab03natallia@sosny.bas-net.by).

Орловская Валентина Игоревна, старший научный сотрудник, Государственное научное учреждение «Объединённый институт энергетических и ядерных исследований — Сосны» Национальной академии наук Беларуси (220109, Республика Беларусь, Минск, а/я 119), e-mail: [val@sosny.bas-net.by](mailto:val@sosny.bas-net.by).

Кузьмин Андрей Владимирович, кандидат физико-математических наук, доцент, генеральный директор, Государственное научное учреждение «Объединённый институт энергетических и ядерных исследований — Сосны» Национальной академии наук Беларуси (220109, Республика Беларусь, Минск, а/я 119), e-mail: [avkuzmin@sosny.bas-net.by](mailto:avkuzmin@sosny.bas-net.by).

## Библиографическое описание статьи

Кузьмина Н. Д., Горбачева Н. В., Орловская В. И., Кузьмин А. В. Разработка рекомендаций по извлечению, кондиционированию и упаковке отработавших закрытых источников ионизирующего излучения, находящихся на долговременном хранении в хранилищах колодезного типа спецпредприятия УП «Экорес» // Радиоактивные отходы. 2026. № 1 (34). С. 54–63. DOI: 10.25283/2587-9707-2026-1-54-63.

DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS FOR THE REMOVAL,  
CONDITIONING AND PACKAGING OF DISUSED SEALED RADIATION  
SOURCES FROM WELL-TYPE LONG-TERM STORAGE FACILITIES  
AT THE EKORES SPECIALIZED ENTERPRISE

Kuzmina N. D., Harbachova N. V., Arlouskaja V. I., Kuzmin A. V.

State Scientific Institution “Joint Institute for Power and Nuclear Research – Sosny” of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

Article received on January 20, 2026

The paper provides recommendations on the retrieval, conditioning and packaging of disused sealed radiation sources stored in well-type storage facilities at the site of specialized Unitary Enterprise Ekores. The recommendations take into account the main regulatory requirements regulating safe disposal of radioactive waste (RW) in the Republic of Belarus including the classification system covering RW and sealed radiation sources, the correspondence of the RW type with the disposal method, the radiation characteristics of RW, containers and packaging for RW disposal. It presents the flowcharts comprising interrelated management operations for various types of disused sealed radiation sources, which are recommended to bring the RW into compliance with the acceptance criteria for disposal.

**Keywords:** long-term storage, sealed radiation sources, container, acceptance criteria, radioactive waste.

## References

1. *Ob utverzhdenii Strategii obrashcheniya s radioaktivnymi otkhodami* [On the Approved Radioactive Waste Management Strategy] : Decree of the Council of Ministers of the Republic of Belarus of February 15, 2023, No. 128. Accessed from the Etalon Online information and legal system.

2. *Vos'moy natsional'nyy doklad Respubliki Belarus' o vypolnenii Ob'yedinennoy konventsii o obrashchenii po bezopasnosti s otrabotkoy topliva i o bezopasnosti obrashcheniya s radioaktivnymi otkhodami* [Eighth National Report of the Republic of Belarus on the Implementation of Obligations Arising from the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management. EMERCOM of the Republic of Belarus: — URL: <https://gosatomnadzor.mchs.gov.by/upload/iblock/b15/zprempr84bkgpuf785eawc993qhpq51s/8-Natsionalnyy-doklad-Respubliki-Belarus.pdf> (accessed on: 15.01.2026).

3. Zhemzhurov M. L., Kuzmina N. D., Kuzmin A. V. Estimation of radioactive waste activity in storage facilities of «Ekores». *Nonlinear Phenomena in Complex Systems*, 2020, no. 4, pp. 414–427. DOI: 10.33581/1561-4085-2020-23-4-414-427.

4. Zhemzhurov M. L., Kuzmina N. D. *Analiz rezul'tatov vypolnennogo kompleksnogo inzhenernogo i radiatsionnogo obsledovaniya zakonservirovannykh i vyvodimyykh iz khranilishch radioaktivnykh otkhodov UP “Ekores”* [Analyzing the findings of a completed comprehensive engineering and radiation survey of mothballed radioactive waste storage facilities and those undergoing decommissioning at UE Ekores].

Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Conference “Nuclear Power, Nuclear and Radiation Technologies of the XXI Century”, 2020, pp. 142–149.

5. IAEA Safety Standards for protecting people and the environment. Decommissioning of Facilities. General Safety Requirements Part 6. International Atomic Energy Agency. — URL: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1652r\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1652r_web.pdf) (accessed on: 12.01.2026).

6. *Trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti pri vyvode iz ekspluatatsii punktov khraneniya radioaktivnykh otkhodov* [Safety Requirements for the Decommissioning of Radioactive Waste Storage Facilities]. Decree of the of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus of February 22, 2019, No. 25. Accessed from the Etalon Online information and legal system.

7. *Kriterii priyemlosti radioaktivnykh otkhodov dlya zakhoroneniya: normy i pravila po obespecheniyu yadernoy i radiatsionnoy bezopasnosti* [Radioactive Waste Acceptance Criteria for Disposal: Norms and Rules for Nuclear and Radiation Safety]. Decree of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus of July 16, 2019, No. 47. Accessed from the Etalon Online information and legal system.

8. *Bezopasnost' pri obrashchenii s radioaktivnymi otkhodami* [Safe Management of Radioactive Waste]. Decree of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus of September 28, 2010, No.47. Accessed from the Etalon Online information and legal system.

9. *Instruktsiya o poryadke i kriteriyakh otneseniya istochnikov ioniziruyushchego izlucheniya k kategoriyam po stepeni radiatsionnoy opasnosti* [Instructions on

the procedure and criteria applied to refer sources of ionizing radiation to certain categories according to their radiation hazard degree]. Decree of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus of January 28, 2021, No. 4. Accessed from the Etalon Online information and legal system.

10. Zhemzhurov M. L., Kuzmina N. D., Gribanova K. A. *Razrabotka kontseptsii vyvoda iz ekspluatatsii spetspredpriyatiya po obrashcheniyu s radioaktivnymi otkhodami UP "Ekores"* [Development of a decommissioning concept for the specialized radioactive waste management enterprise UE Ekores]. Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Conference "Nuclear Energy, Nuclear and Radiation Technologies of the XXI Century", 2020, pp. 27–36.

11. *Gigiyenicheskiye trebovaniya po obespecheniyu radiatsionnoy bezopasnosti personala i naseleniya pri transportirovani radioaktivnykh materialov (veshchestv)* [Hygienic requirements for the radiation safety of personnel and the population during transportation of radioactive materials (substances)]. Decree of the Chief State Sanitary Doctor of the Republic of Belarus of December 30, 2005, No. 284. Accessed from the Etalon Online information and legal system.

12. Diordiy M. N., Semenov V. E., Karlina O. K. *Kompleks dlya sbora, transportirovaniya, khraneniya i zakhoroneniya otrabotavshikh istochnikov ioniziruyushchego izlucheniya* [The complex for collection, transportation, storage and disposal of spent radioactive sources]. *Radioaktivnyye otkhody – Radioactive Waste*, 2018, no. 2 (3), pp. 73–78.

13. *Sertifikat-razresheniye na konstruktsiyu upakovochnykh komplektov transportnykh KMZ-RNI-RADON i perevozku v nikh radioaktivnykh materialov* [Certificate of approval for the transport packaging kit KMZ-RNI-RADON designs and its application in the transportation of radioactive materials]. RUS/1073/B(U)-96T. Moscow, Rosatom State Corporation Publ., 2015. 7 p.

14. *Razvitiye konteynerov dlya otrabotavshogo yadernogo topliva energeticheskikh reaktorov tipa VVER s 2016 goda i na gorizonte do 2035 g.* [Development and evolution of container designs for spent nuclear fuel from VVER-type power reactors in 2016–2035]. Atomic Energy 2.0: scientific and business portal. 2008. — URL: [https:// https://www.atomic-energy.ru/articles/2024/09/10/148913](https://www.atomic-energy.ru/articles/2024/09/10/148913) (accessed on: 12.01.2026).

---

## Information about the authors

*Kuzmina Natallia Dmitrievna*, Head of the Research Department, State Scientific Institution "Joint Institute for Power and Nuclear Research – Sosny" of the National Academy of Sciences of Belarus (P.O. Box 119, Minsk, 220109, Republic of Belarus), e-mail: [ndkuzmina@sosny.bas-net.by](mailto:ndkuzmina@sosny.bas-net.by).

*Harbachova Natallia Vladimirovna*, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Leading researcher, State Scientific Institution "Joint Institute for Power and Nuclear Research – Sosny" of the National Academy of Sciences of Belarus (P.O. Box 119, Minsk, 220109, Republic of Belarus), e-mail: [lab03natallia@sosny.bas-net.by](mailto:lab03natallia@sosny.bas-net.by).

*Arlouskaja Valentina Igorevna*, Senior Researcher, State Scientific Institution "Joint Institute for Power and Nuclear Research – Sosny" of the National Academy of Sciences of Belarus (P.O. Box 119, Minsk, 220109, Republic of Belarus), e-mail: [val@sosny.bas-net.by](mailto:val@sosny.bas-net.by).

*Kuzmin Andrey Vladimirovich*, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, General Director, State Scientific Institution "Joint Institute for Power and Nuclear Research – Sosny" of the National Academy of Sciences of Belarus (P.O. Box 119, Minsk, 220109, Republic of Belarus), e-mail: [avkuzmin@sosny.bas-net.by](mailto:avkuzmin@sosny.bas-net.by).

## Bibliographic description

Kuzmina N. D., Harbachova N. V., Arlouskaja V. I., Kuzmin A. V. Development of Recommendations for the Removal, Conditioning and Packaging of Disused Sealed Radiation Sources from Well-Type Long-Term Storage Facilities at the Ekores Specialized Enterprise. *Radioactive Waste*, 2026, no. 1 (34), pp. 54–63. DOI: 10.25283/2587-9707-2026-1-54-63. (In Russian).