

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

**Кузьмина Н.Д., Михалычева Э.А., Горбачева Н.В., Орловская
В.И., Мороз И.О., Корчева Ю.А.**

**Государственное научное учреждение
«Объединенный институт энергетических и ядерных исследований –
Сосны», НАН Беларуси**

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ СЕМИНАР
«ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ ЯДЕРНЫХ И РАДИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»**

**г. Минск
2025**



Стратегия обращения с радиоактивными отходами, утвержденная постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 15.02.2023 № 128, предусматривает сооружение в Республике Беларусь **централизованного пункта захоронения модульного типа для всех видов имеющихся и образуемых в стране РАО.**

Одним из источников поступления РАО на централизованный пункт захоронения являются институциональные РАО, перемещаемые со специализированного предприятия по обращению с радиоактивными отходами УП «Экорес».

В работе **представлены рекомендации по извлечению, кондиционированию и упаковке отработавших закрытых источников ионизирующего излучения (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»**.

Спецпредприятие УП «Экорес» создано в 1963 г. для размещения РАО от деятельности исследовательского реактора Института ядерной энергетики Академии наук БССР. В 1999–2013 гг. **проведена реконструкция объекта** с перепрофилированием его в **пункт хранения РАО.**

В хранилищах «первого» и «второго» поколения было накоплено значительное количество **отработавших закрытых источников ионизирующего излучения (ИИИ)**, используемых в медицине, науке, промышленности и других сферах.

По результатам проведенного в 2019 г. комплексного инженерного и радиационного обследования хранилищ - **остаточный ресурс их строительных конструкций составляет от 18 до 27 лет.** До истечения указанного срока законсервированные, а также действующие хранилища подлежат **выводу из эксплуатации**

Необходимо поэтапно выполнить **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).

Наиболее трудноразрешимой задачей являются **технологии извлечения ИИИ** из хранилищ колодезного типа «второго поколения» спецпредприятия УП «Экорес».

При загрузке в хранилища **сортировка ИИИ по активности и периоду полураспада не выполнялась**, поэтому в них размещено значительное количество долгоживущих источников, содержащих ^{226}Ra .

В связи с потерей герметичности оболочек источников ^{226}Ra и выходом радона в высоких концентрациях, в ряде хранилищ 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 хранилище инв. № 369 **технологический канал колодца** в период эксплуатации был **закупорен застрявшим длинномерным источником**, после чего был **заполнен металлической (свинцовой) дробью**.

При освобождении хранилищ отработавших закрытых ИИИ спецпредприятия УП «Экорес» будут образовываться следующие **виды РАО** с точки зрения **морфологического состава**:

- ☐ отработавшие закрытые ИИИ в защитных блоках (контейнерах);
- ☐ отработавшие закрытые ИИИ без защитных блоков (контейнеров);
- ☐ отработавшие закрытые ИИИ в металлической матрице (металлоблоки).

Анализ основных требований к обеспечению безопасности при захоронении радиоактивных отходов

8

Передаваемые 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», которые определяют **требования, достаточные для передачи их в эксплуатирующую ПЗРО организацию.**

Согласно нормам и правилам по обеспечению ядерной и радиационной безопасности «Безопасность при обращении с радиоактивными отходами. Общие положения», **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 его прочностных характеристик и герметичности в период обращения с упаковкой РАО.

Целесообразно использование **унифицированных по типу и размеру контейнеров.**

В соответствии с нормами и правилами по обеспечению ядерной и радиационной безопасности «Безопасность при обращении с радиоактивными отходами. Общие положения», способ захоронения отработавших закрытых ИИИ (***приповерхностное или глубинное***) определяется исходя из классификации отработавших закрытых ИИИ ***по степени радиационной опасности*** (категории 1-5).

На основании проведенного анализа упаковок для кондиционирования и захоронения (долговременного хранения) РАО в Российской Федерации для целей настоящей работы **для захоронения отработавших закрытых ИИИ в защитных блоках и без них** предлагается использовать **контейнер КМЗ-РНИ-РАДОН**, который разработан и сертифицирован специалистами ФГУП «РАДОН».

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

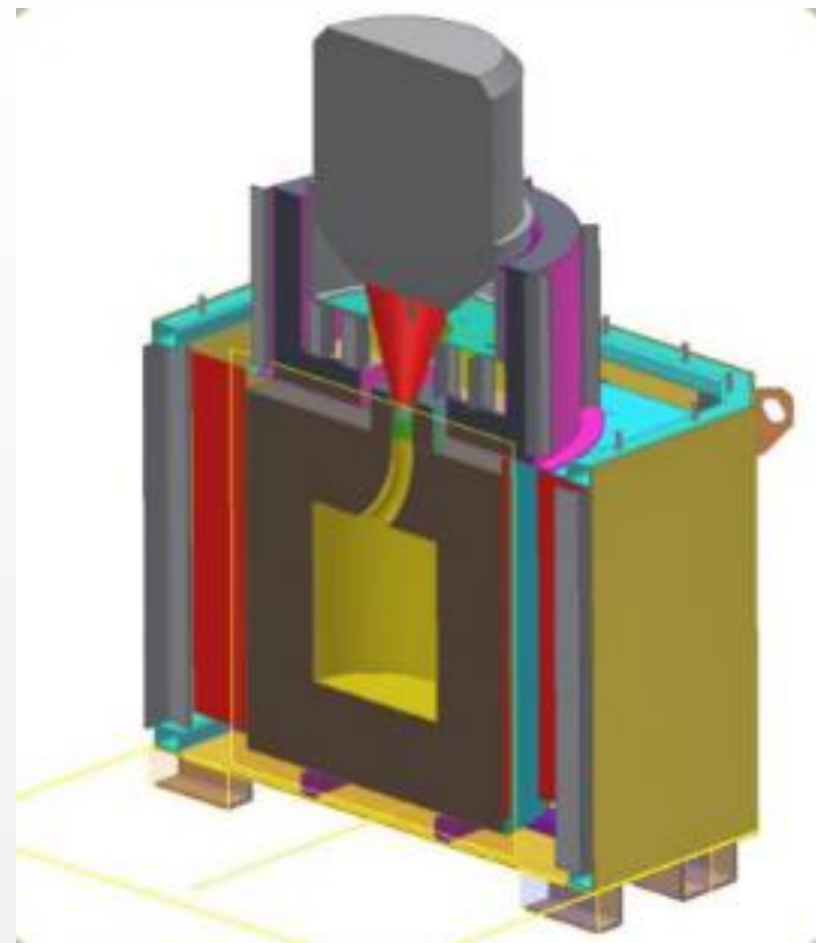
Контейнер КМЗ-РНИ-РАДОН, в отличие от хранилища колодезного типа, обеспечивает возможность:

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

Упаковочный комплект состоит из внутреннего защитного контейнера, имеющего емкость для размещения источников, окруженную биологической защитой из свинца, толщиной 250–300 мм. Объем внутреннего резервуара для отработавших ИИИ - 0,08 м³. Номинальная активность размещаемых РАО - 3,70Е+15 Бк.

Для загрузки отработавших закрытых ИИИ предусмотрена изогнутая загрузочная труба, закрываемая пробкой. Для защиты от воздействия факторов окружающей среды и унификации операций по обращению с РАО внутренний защитный контейнер размещен в защитном контейнере.

Общий вид контейнера КМЗ-РНИ-РАДОН



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

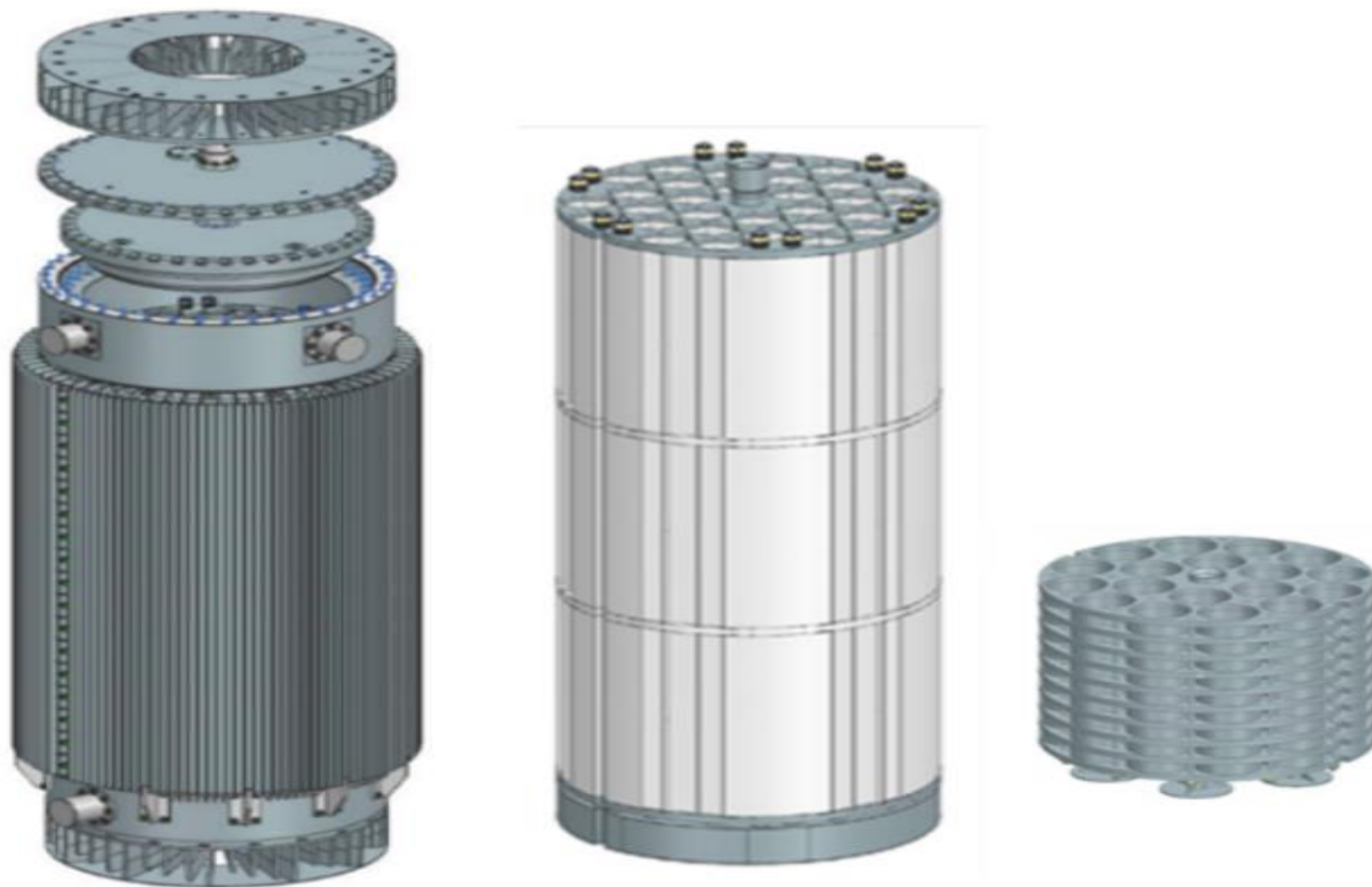
Контейнер УКХ ПВ предназначен для хранения отработавших ТВС, а также пеналов с остеклованной высокоактивной короткоживущей фракцией РАО от переработки отработавшего ядерного топлива Белорусской АЭС. Предполагается оснащение двумя видами вставок – дистанцирующей решеткой, позволяющей размещать в нем либо отработавшие ТВС, либо пеналы объемом 100 л, содержащие остеклованные РАО.

В рамках данной работы **контейнер УКХ ПВ** предлагается использовать для **временного хранения отработавших закрытых ИИИ в металлической матрице** (металлоблоки) при условии изменения конструкции дистанцирующей решетки. Материал основного корпуса контейнера - высокопрочный чугун с шаровидным графитом.

Отработавшие закрытые ИИИ, включенные в металлическую матрицу предлагается **извлекать одним блоком и размещать в контейнер УКХ ПВ целиком**, который после заполнения направляется **на временное хранение на площадку планируемого ПЗРО**.

Альтернативные решения для организации долговременного хранения металлоблоков - **изготовление контейнера по индивидуальному заказу** или **вариант отложенного решения** (наличие эффективных технологий, экономические факторы).

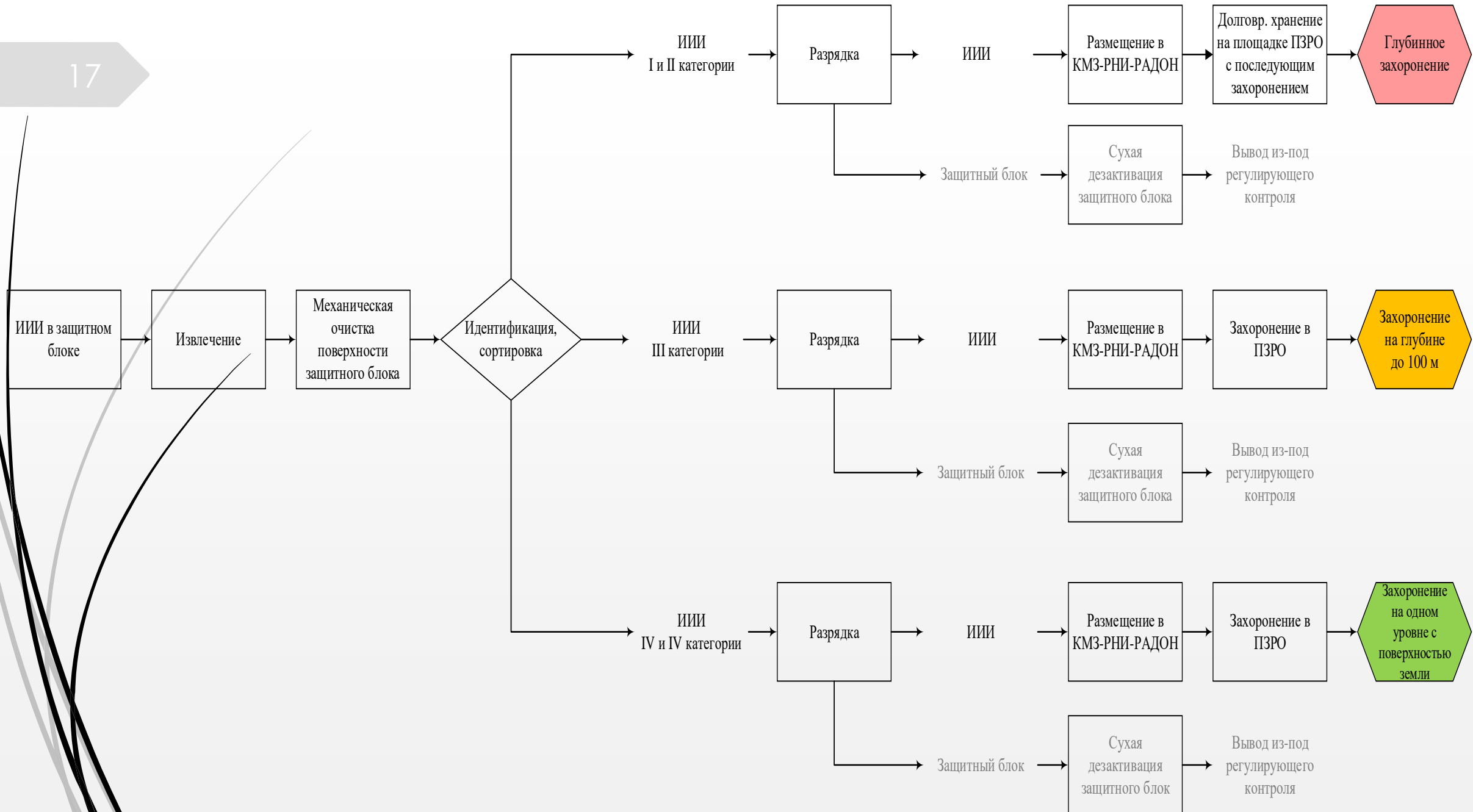
Общий вид контейнера УКХ ПВ



В работе приведены **последовательности взаимосвязанных операций (производственно-технологические цепочки (ПТЦ))** по обращению с различными типами ИИИ, которые рекомендуется выполнять для приведения РАО в соответствие критериям приемлемости и передачи на захоронение.

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

17



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

Извлеченные **отработавшие закрытые ИИИ разряжаются в контейнер**, аналогичный по характеристикам контейнеру КМЗ-РАДОН, с постоянным контролем значения показателя A/D (активность ИИИ, приведенная к показателю опасности радионуклида для каждого отдельно взятого радионуклида) и **определением категории по степени радиационной опасности**.

После заполнения отработавшими закрытыми ИИИ и заполнения приемной емкости иммобилизирующим материалом контейнеры типа КМЗ-РНИ-РАДОН отправляют на **временное хранение (захоронение)** по достижении предельного уровня заполнения или предельного уровня активности.

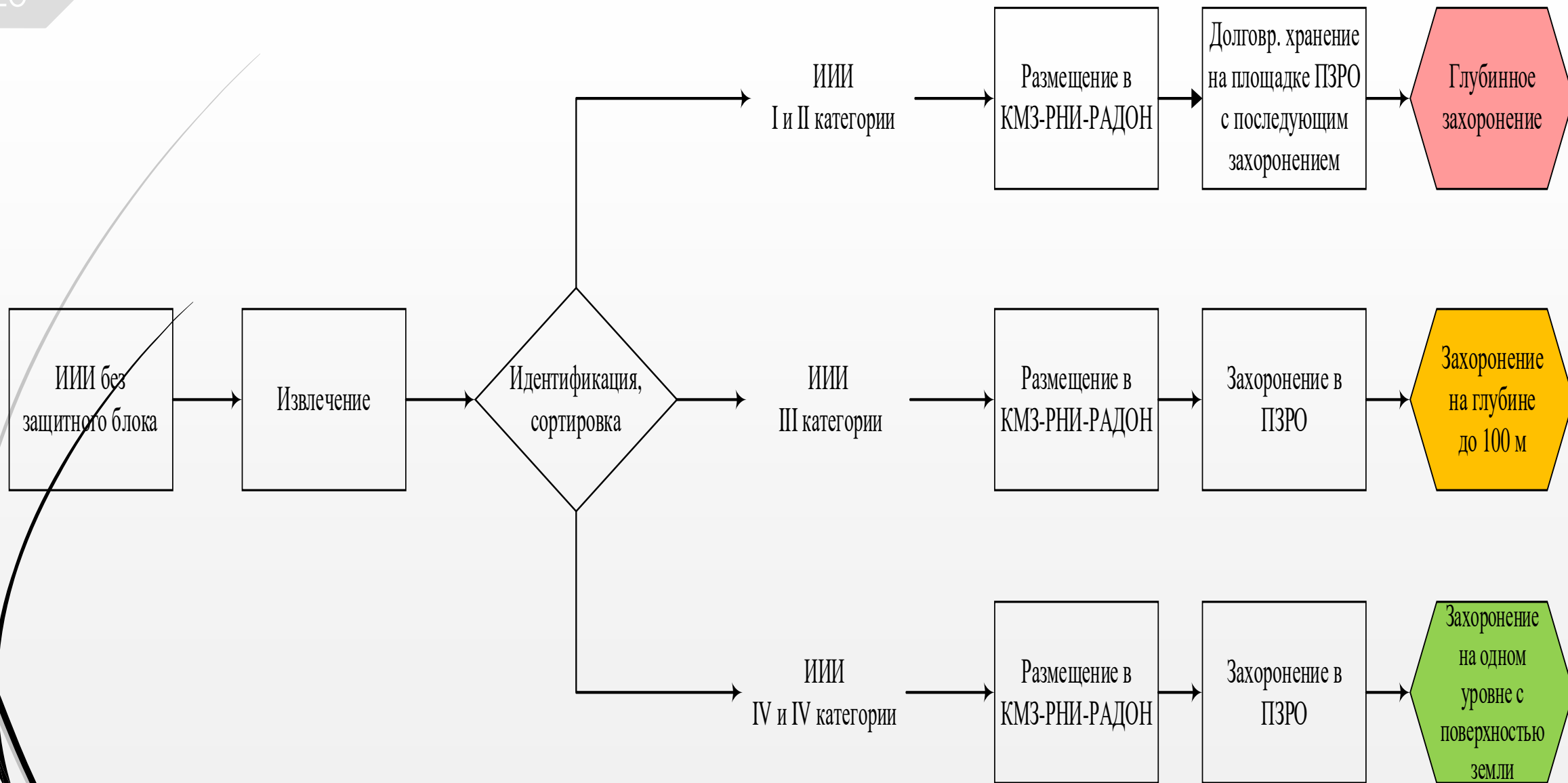
Защитные блоки (контейнеры) отработавших ИИИ отправляются **на сухую дезактивацию**, (например, с помощью полимерных покрытий), и **при соответствии радиационных показателей действующим в Республике Беларусь нормам освобождаются от контроля в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности**. 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**:

- ☐ суммарная активность размещенных отработавших закрытых ИИИ не должна превышать $3,7 \cdot 10^{15}$ Бк, в соответствии с предельно допустимым показателем активности для контейнера;
- ☐ консервативно принято, что количество размещенных отработавших закрытых ИИИ не должно превышать 4000 шт.

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

20

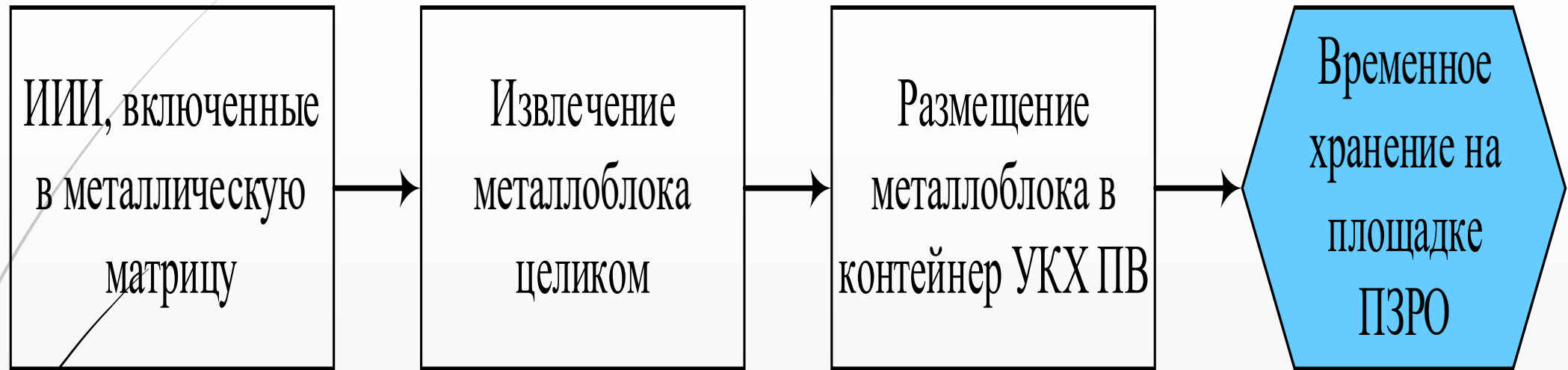


Отработавшие закрытые ИИИ без защитного контейнера, размещенные в хранилищах спецпредприятия УП «Экорес», предлагается извлекать, сортировать по типу излучения (α , β , γ) и определять их активность и, соответственно, категорию по степени радиационной опасности. Дальнейшее обращение с отработавшими закрытыми ИИИ осуществляется аналогично ПТЦ № 1.

Длинномерный ИИИ, застрявший в приемной трубе одного из колодцев хранилища спецпредприятия УП «Экорес», после извлечения **подлежит резке на фрагменты**, не превышающие по длине 200 мм, и контейнеризации в контейнер типа КМЗ-РНИ-РАДОН. Максимально допустимая длина фрагмента установлена в соответствии с параметрами загрузочной трубы контейнера.

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

22



Отработавшие закрытые ИИИ, включенные в металлическую матрицу, извлекаются одним блоком и размещаются в контейнер УКХ ПВ целиком. Контейнер УКХ ПВ после заполнения направляется на временное хранение на площадку планируемого ПЗРО.

В целях соблюдения требований безопасности при захоронении РАО по подтверждению способности упаковки ограничивать воздействие РАО на человека и окружающую среду проведен **анализ соответствия упаковок РАО критериям приемлемости для захоронения.**

Согласно нормам и правилам по обеспечению ядерной и радиационной безопасности конструкция контейнера и его конструкционные материалы должны обеспечивать **сохранение его прочностных характеристик и герметичности** в период обращения с упаковкой РАО.

Определено, что предложенный тип упаковки отработавших закрытых ИИИ (**контейнер КМЗ-РНИ-Радон**) **соответствует общим критериям приемлемости для захоронения.**

Отработавшие закрытые ИИИ, включенные в металлическую матрицу, предложено извлекать одним блоком и размещать в контейнер УКХ ПВ целиком. После заполнения **контейнер УКХ ПВ направляется на временное хранение** на площадку планируемого ПЗРО.

Заключение

25

В работе представлены разработанные рекомендации по извлечению, кондиционированию и упаковке отработавших закрытых источников ионизирующего излучения (ИИИ), находящихся на долговременном хранении в хранилищах колодезного типа спецпредприятия УП «Экорес», одного из источников поступления РАО на централизованный пункт захоронения, сооружаемый в Республике Беларусь.

Проведен анализ законодательства Республики Беларусь и Российской Федерации и определены НПА, содержащие **требования к обеспечению безопасности при захоронении РАО**, включая:

- ☐ требования к классификации РАО и отработавшим ресурс закрытым ИИИ;
- ☐ требования соответствия вида РАО способу захоронения;
- ☐ требования к радиационным характеристикам РАО;
- ☐ требования к физическим и химическим свойствам РАО;
- ☐ требования к упаковкам РАО для захоронения и контейнерам;
- ☐ требования к физическим и химическим свойствам отработавших свой ресурс закрытым ИИИ и упаковкам их содержащих

При освобождении хранилищ отработавших закрытых ИИИ спецпредприятия УП «Экорес» будут образовываться ***следующие виды РАО с точки зрения морфологического состава:***

- ☐ отработавшие закрытые ИИИ в защитных блоках (контейнерах);
- ☐ отработавшие закрытые ИИИ без защитных блоков (контейнеров);
- ☐ отработавшие закрытые ИИИ в металлической матрице (металлоблоки).

В соответствии с определенным морфологическим составом РАО (ИИИ) приведены **производственно-технологические цепочки (ПТЦ) по обращению с различными типами ИИИ**, которые рекомендуется выполнять для приведения РАО в соответствие критериям приемлемости и передачи на захоронение.

В целях соблюдения требований безопасности при захоронении РАО по подтверждению способности упаковки ограничивать воздействие РАО на человека и окружающую среду **проведен анализ соответствия упаковок РАО критериям приемлемости для захоронения.**

Определено, что предложенный тип упаковки отработавших закрытых ИИИ (**контейнер КМЗ-РНИ-Радон**) **соответствует общим критериям приемлемости для захоронения.**

Отработавшие закрытые ИИИ, включенные в металлическую матрицу, предложено извлекать одним блоком и размещать в контейнер УКХ ПВ целиком. После заполнения **контейнер УКХ ПВ направляется на временное хранение на площадку планируемого ПЗРО.**

Спасибо за внимание!

