

Программа совершенствования обращения с ТРО в губе Андреева

*Демин А.В., Шведов А.А., Сорокин В.Т., Заручевская Г.П.,
Кащеев В.В., Звягина Л.Н., Феофанова Т.А.*

*Федеральное государственное унитарное предприятие «Главный институт
«Всероссийский проектный и научно-исследовательский институт комплексной
энергетической технологии» (ФГУП «ГИ «ВНИПИЭТ»)*

В настоящем докладе по материалам «Технико-экономических исследований обращения с твердыми радиоактивными отходами в Губе Андреева (ТЭИ)», которые в настоящее время разрабатываются в рамках контракта №04-10/520 от 18 марта 2003 года между Россией и Швецией, с учетом Шведского и Российского опыта проведения работ по реабилитации радиационно опасных объектов рассмотрены вопросы обращения с твердыми радиоактивными отходами (ТРО), находящимися на хранении на объекте, расположенном в губе Андреева, и образующимися при реабилитации данного объекта:

- цель и задачи обращения с твердыми отходами объекта в губе Андреева;
- номенклатура и характеристика твердых радиоактивных отходов;
- обоснование общих положений концепции обращения с твердыми отходами с учетом специфики условий реабилитации объекта
- основные этапы реализации концепции и решения по организации работ по обращению с твердыми отходами;
- концептуальная технологическая схема обращения с различными видами твердых отходов;
- состав и характеристика установок и оборудования по обращению с РАО и предложения по зарубежному участию.

Перечень сокращений

БТБ	Береговая техническая база
ВАО	Высокоактивные отходы
ДЖО	Долгоживущие отходы
ЖРО	Жидкие радиоактивные отходы
ИК	Ионизационная камера
КД	Конструкторская документация
КЖО	Короткоживущие отходы
ЛТК	Лазерный технологический комплекс
НАО	Низкоактивные отходы
РАО	Радиоактивные отходы
САО	Среднеактивные отходы
СИЗ	Средства индивидуальной защиты
СУЗ	Система управления защитой
ТО	Твердые отходы
ТРО	Твердые радиоактивные отходы
ТЭИ	Технико-экономические исследования

1. Общие положения

Концепция обращения с РАО любого отдельного объекта Минатома России, в том числе и данного объекта, переданного в ведение Минатома в 2001 году, должна соответствовать общим положениям «Концепции Минатома России по обращению с радиоактивными отходами», введенной в действие приказом Министра № 475 от 03.08.2000, и учитывать специфику конкретного объекта.

Согласно концепции Минатома РФ схема обращения с РАО предусматривает (рис. 1):

- сбор, сортировку, переработку и формирование упаковок РАО (кондиционирование), отвечающих требованиям стадий хранения и захоронения;
- временное хранение, транспортирование и захоронение кондиционированных радиоактивных отходов: упаковок короткоживущих РАО – в приповерхностные сооружения (наземные или заглубленные до 100 м), упаковок долгоживущих РАО – в глубокие геологические формации (на глубине 300 м и более).

Принятая Минатомом России техническая политика в области обращения с РАО сводится сейчас к концентрированию усилий по реализации стадий переработки, кондиционирования и временного хранения РАО объектов использования атомной энергии и отложенному решению реализации стадии захоронения. В качестве вынужденной меры принято временное ограничение схемы обращения с РАО стадией хранения. Сроки разработки и реализации стадии захоронения официально пока не установлены, поэтому продолжительность эксплуатации хранилищ (срок хранения) установлена нормативной документацией в 30 - 50 лет. Предусматривается создание централизованных долговременных хранилищ, что потребует в ближайшем будущем транспортирования упаковок РАО за пределы предприятий.

Вышеназванная политика определяет технические решения указанных стадий обращения. В проектах новых сооружений хранению подлежат кондиционированные отходы, т. е. упаковки РАО, рассматриваемые как закрытые источники ионизирующих излучений. Используемые контейнеры должны быть сертифицированы. Срок службы (долговечность) контейнера должна соответствовать или превышать проектный срок эксплуатации хранилища. Упаковки РАО формируются на установках кондиционирования и при поступлении в хранилище должны отвечать совокупным федеральным критериям приемлемости, предъявляемыми требованиями стадий хранения и захоронения.

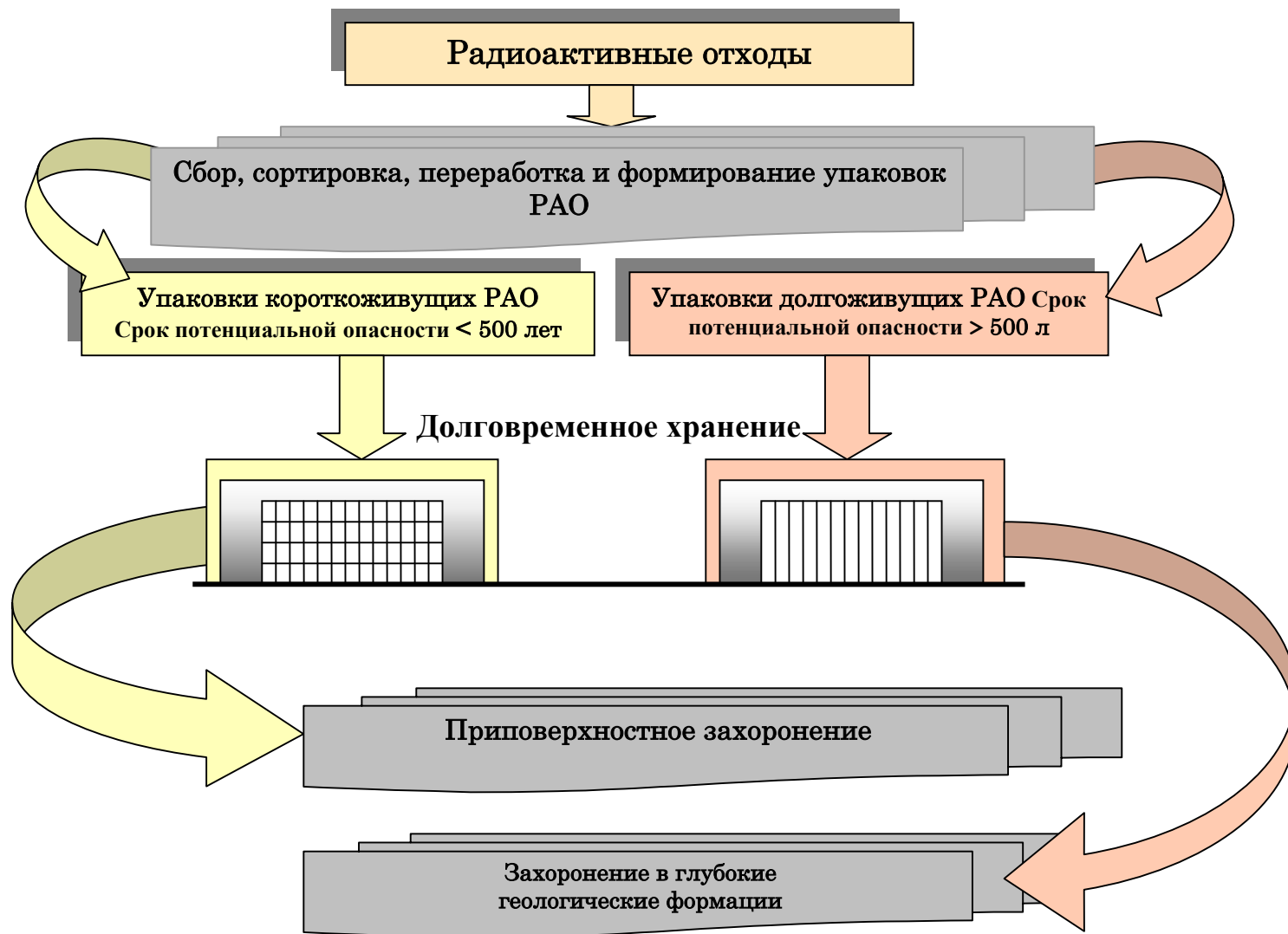


Рис. 1. Концептуальная схема обращения с РАО Минатома России

2. Цель и задачи обращения с ТРО объекта в губе Андреева

Целью обращения с твердыми отходами объекта в губе Андреева является его реабилитация от накопленных и образующихся РАО, экологически безопасная и экономически целесообразная их переработка с переводом в формы, пригодные для последующего длительного хранения, в обеспечение устранения радиационного воздействия на население и окружающую среду.

Основными задачами обращения с ТРО являются:

- стабилизация существующего состояния ТРО, накопленных на открытых площадках и в заглубленных хранилищах;
- восстановление или создание новой необходимой инфраструктуры объекта, обеспечивающей условия безопасного проведения работ по обращению с ТРО;
- создание укрытий для проведения работ с РАО, удаляемых с открытых площадок, заглубленных хранилищ, сооружений, акватории и территории,
- обоснование оптимальной технологической схемы обращения с твердыми отходами и системы классификации ее реализующей;
- выбор установок (технологии и оборудования) сортировки и переработки твердых отходов, позволяющих достичь оптимального сокращения объема отходов при минимальных затратах;
- выбор и обоснование металлических и бетонных контейнеров, используемых для формирования упаковок РАО, отвечающих требованиям унификации, сертификации, долговечности и другим требованиям нормативной документации РФ;
- разработка предпроектной и проектной документации и создание на объекте системы сбора, классификационной сортировки, переработки, кондиционирования отходов с формированием упаковок РАО, отвечающих требованиям нормативной документации РФ по критериям приемлемости отходов для их хранения и захоронения;
- обеспечение долговременного хранения упаковок РАО и «условно-чистых» твердых отходов, отвечающего современным требованиям безопасности, с возможностью последующего вывоза короткоживущих отходов в региональный приповерхностный могильник, а долгоживущих – в централизованный пункт захоронения в глубокие геологические формации;
- обеспечение требований радиационной безопасности на всех этапах проведения работ, включая ограничение выбросов и сбросов в окружающую среду с соблюдением экологических условий и требований.

3. Номенклатура, характеристика и классификация РАО по способам переработки

Виды накопленных на объекте твердых радиоактивных отходов:

- крупногабаритное оборудование,
- горючие ТРО (можно отнести к технологическим мелкогабаритным отходам),
- технологические отходы.

Твердые радиоактивные отходы различаются уровнями удельной активности (низко-, средне- и высокоактивные) и радионуклидным составом (содержанием долгоживущих и короткоживущих α - и β -, γ - излучателей).

Общий объем накопленных твердых радиоактивных отходов в хранилищах составляет около 17,51 тыс. м³, из них прессуемых - 4690 м³, горючих – около 4860 м³, металлических – около 9690 м³ (см. табл.1). Суммарная активность отходов составляет около 1600 Ки.

Таблица 1

Количество ТРО, накопленных на объекте

Количество ТРО, м ³			
Суммарное	Низкоактивные	Среднеактивные	Высокоактивные
17510 (100%)	12770 (73%)	4040 (23%)	700 (4%)

Твердые отходы, накопленные на объекте, распределены (по массогабаритным характеристикам, физико-химическому составу, способу обращения) в следующие группы (поток):

- контейнеризированные ТРО - контейнеры с отходами всех типоразмеров с открытых площадок и закрытых сооружений (кроме контейнеров, установленных в здании 67 в 2001-2003 годах);
- крупногабаритные толстостенные детали (элементы реакторных установок, базовые контейнеры и др., в основном толстостенные детали из нержавеющей стали);
- тонкостенные детали (бочки, емкостное оборудование, домики, комингс-площадки, рельсы, трубы);
- оборотные чехлы (чехлы 22, 22М, 24, 24М);
- бетонные балки, плиты, блоки, образовавшиеся при выгрузке топлива из здания 5;
- забетонированные ловушки с шихтой;
- незабетонированные ловушки с шихтой;
- мягкие горючие ТРО (прессуемые): СИЗ, мешки, резина, кабели, пр.,
- твердые горючие ТРО (древесина): сломанные деревянные ящики, др.,
- свинцовые пластины, плиты и т. п. отходы, образовавшиеся при выгрузке топлива из здания 5;
- ВАО: стержни СУЗ, ИК, ловушки с шихтой и др.;
- грунт (наносной грунт с открытых площадок).

По способам и месту хранения выделены следующие группы ТРО:

- отходы, которые хранятся навалом без упаковки на открытых площадках;
- отходы, которые хранятся на открытых площадках в контейнерах;
- отходы, которые хранятся навалом без упаковки в заглубленных хранилищах;
- отходы, которые хранятся в заглубленных хранилищах в контейнерах;
- отходы, которые хранятся в зданиях и сооружениях, не носящих статус хранилища;

- строительные конструкции зданий и сооружений, по радиационным параметрам отнесенные к ТРО;
- грунт на территории всего объекта, хранящийся без контроля.

4. Концепция обращения с ТРО на объекте в губе Андреева

4.1. Обоснование положений концепции обращения с ТРО с учетом специфики условий реабилитации объекта

Анализ специфики условий реабилитации объекта позволил выработать конкретные концептуальные положения схемы обращения с ТРО и наметить технические решения по ее реализации. Специфика условий реабилитации объекта состоит в следующем:

- **Объект подлежит выводу из эксплуатации.** Исчерпан назначенный срок эксплуатации и ресурс работы систем и элементов объекта, утрачено первоначальное его назначение. Продление срока эксплуатации объекта не предусматривается, т.к. его восстановление нерентабельно. Перепрофилирование объекта также не планируется. Поэтому строительство новых капитальных сооружений на объекте, который выводится из эксплуатации, нецелесообразно и *объем капитального строительства по возможности должен быть сведен к минимуму.*

- **Существующая инфраструктура объекта не соответствует выполнению поставленных задач.** На объекте нет штатных средств обращения с РАО, которыми можно было бы воспользоваться. Система хранения ТРО на объекте находится в аварийном состоянии и не отвечает современным требованиям, являясь источником радиоактивного загрязнения окружающей среды. В Северном регионе РФ пока не создан централизованный комплекс по переработке ТРО объектов Военно-морского флота и судоремонтных заводов. Поэтому в обеспечение реабилитации объекта *требуется предусматривать новые установки обращения с ТРО и создание необходимой инфраструктуры под новое строительство.*

- **Объект является удаленным и изолированным, поэтому переработка отходов должна быть организована на месте.** При выборе технических решений по обращению с РАО *следует отдавать предпочтение мобильным легко демонтируемым установкам, средствам и сооружениям, не требующим капитального строительства.* Установки должны быть простыми в управлении, обладать легкой доставкой и сборкой, требовать минимума вспомогательных систем и обслуживания. Учитывая суровые климатические условия, мобильные установки должны располагаться в укрытии (здании).

Применение мобильных установок накладывает ограничение на выбор способов переработки и возможность достижения желаемых параметров (показателей) переработки. Требования снижения объема капитального строительства и мобильного исполнения вынуждают отказаться от систем и установок: энергоемких, высокопроизводительных, характеризующихся сложной технологией и образованием больших объемов вторичных отходов. Процессы сжигания, суперпрессования, например, не могут быть использованы. Эти методы переработки могут быть рекомендованы только в стационарных

центрах при условии, что сокращение объемов отходов, подлежащих хранению, окупят затраты на транспортирование.

Следует отказаться и от дорогих установок, стоимость которых окупается при переработке больших объемов отходов и работы в течение времени до полного исчерпания ресурса дорогостоящего оборудования. Срок окупаемости мобильных установок должен составлять не более 10-15 лет. Необходимая производительность установок должна обеспечивать переработку ТРО объекта в течение не менее 10-15 лет; иметь резерв по производительности, рассчитанный на проведение работ в климатических условиях крайнего Севера, и возможность переработки отходов, доставляемых с объекта филиала №2 ФГУП "Сев РАО" (п. Гремиха).

Перечисленным условиям отвечают следующие *методы переработки ТРО: отдельные методы дезактивации, прессование в бочках усилием до 100 т, фрагментация, омоноличивание ТРО в контейнерах методом цементирования.* Мобильные методы переработки не позволяют достичь максимальных коэффициентов сокращения объемов отходов и могут рассматриваться как предварительные. Целесообразность дальнейшей переработки отходов объекта в стационарном центре после его создания в Северном регионе РФ должна быть обоснована в отдельной работе на основе технико-экономических расчетов.

- **Большое разнообразие видов твердых отходов.** ТРО объекта различаются по месту хранения, номенклатуре, радиационным параметрам, физико-химическому составу и массогабаритным характеристикам. Поэтому важно распределить эти виды отходов на потоки и обосновать обращение с каждым из выделенных потоков отходов. *Разработка оптимальной потоковой схемы обращения с твердыми отходами* должна быть подтверждена результатами технико-экономических расчетов.

Для реализации оптимальной схемы обращения с РАО принципиальное значение приобретает *система классификационной сортировки и ее приборное обеспечение.* Необходимо выбрать и обосновать критерии классификации для организации системы оптимальной поэтапной сортировки ТРО, учитывающей условия и места размещения отходов, цели и возможности используемых технологий переработки и хранения, технико-экономическую целесообразность технических решений и их экологическую необходимость.

- **Основной объем накопленных ТРО составляют низкоактивные отходы (73%),** что требует предусматривать решения по уменьшению объема этой группы отходов. *В качестве основного метода сокращения объема низкоактивных ТРО (в мобильном исполнении) принято использовать прессование.* Прессованию подлежат мягкие горючие и негорючие прессуемые отходы (включая тонкостенные металлоизделия). Поскольку требование к условиям хранения горючих и негорючих отходов различны, прессование горючих и негорючих отходов должно быть организовано отдельными потоками. Такая схема обращения с горючими РАО оставляет возможность осуществить в дальнейшем их сжигание, если это будет экономически целесообразно.

При реабилитации территории и разборке зданий и сооружений прогнозируется образование нерадиоактивных отходов, количественный вклад которых может быть заметным. Наличие нерадиоактивных отходов («условно-чистых») можно ожидать и среди накопленных НАО, удельная активность

которых могла снизиться в результате радиоактивного распада до значения (и менее) нижней границы отнесения к РАО. Для *снижения нагрузки на систему обращения с ТРО на этапе сортировки следует отделить потоки радиоактивных и нерадиоактивных отходов.*

Нерадиоактивные отходы следует распределить на 2 потока:

- «чистые» отходы, на которые требования норм радиационной безопасности не распространяются и они могут быть выведены из-под контроля - их можно направить на полигон промышленных отходов или неограниченно утилизировать;
- «условно-чистые» отходы, которые подпадают под действие норм радиационной безопасности и подлежат контролю - можно ограниченно использовать для целей реабилитации объекта, например, для сооружения фундаментов новых объектов и дорожных работ.

Целесообразно выделить также поток низкоактивных твердых отходов, удельная активность которых приближена к нижней границе отнесения отходов к ТРО, и направить отходы этого потока на переработку с целью перевода их в категорию нерадиоактивных отходов. Можно организовать отдельный поток не утилизируемых «условно-чистых» отходов для перевода их в категорию «чистых» отходов. Рассматривается *дезактивация в качестве основного метода переработки «условно чистых» и части низкоактивных отходов (металла и бетона)*, которые после дезактивации и/или последующих переплавки и/или 30-50-летнего хранения переходят в категорию «чистых» отходов и могут быть неограниченно использованы или направлены на полигоны промышленных отходов. Критерии классификации должны быть разработаны с учетом достигаемых степеней очистки (коэффициентов дезактивации).

- **В составе ТРО объекта имеются долгоживущие отходы**, содержащие α -излучатели (в том числе как результат аварий на объекте) и β -, γ -излучатели - продукты активации (^{59}Ni , ^{63}Ni и др.). *Долгоживущие РАО требуют отдельного обращения*, т.к. впоследствии они не могут быть захоронены приповерхностным способом, реализацию которого можно ожидать в качестве первого этапа решения проблемы захоронения в РФ. Поэтому при классификационной сортировке важно выделить эту группу отходов в отдельные потоки.

- **Наличие большого количества крупногабаритных отходов требует их разделки/резки до и/или после сортировки.** Для этого необходимо, исходя из видов ТРО, использование нескольких видов такого оборудования. **Большое количество ТРО находится без упаковки**, а те, которые хранятся упакованными, из-за негерметичности контейнеров, содержат воду и нуждаются в удалении влаги, что *требует организации узла сушки.*

Не решена для Северного региона РФ проблема захоронения РАО, поэтому упаковки кондиционированных отходов должны быть размещены на долговременное (в течение до 50 лет) хранение. Для этого потребуются строительство на объекте нового хранилища и реконструкция существующего здания 67. Для сокращения количества отходов разборка сразу всех строительных конструкций объекта, по-видимому, является нецелесообразной. В первую очередь разборке подлежат наиболее «грязные» сооружения, оказывающие негативное воздействие на окружающую среду, а остальные сооружения можно будет ликвидировать одновременно с выводом хранилищ из

эксплуатации, когда будет решена проблема захоронения РАО (сценарий «коричневая» лужайка вывода объекта из эксплуатации).

Только после завершения проектного срока эксплуатации хранилищ и вывоза кондиционированных ТРО за пределы объекта можно будет завершить реабилитационные работы. Если за это время не будет решена проблема захоронения в Северном регионе, то придется возвращаться к вопросам переосвидетельствования упаковок ТРО и строительства новых хранилищ.

4.2. Основные этапы реализации концепции и решения по организации работ по переработке твердых отходов

Порядок выполнения работ по реабилитации объекта предусматривает следующие этапы:

I этап. Очистка территории открытых площадок и доставка отходов к местам промежуточного складирования (в зону строительства укрытий) - см. рис. 2.

Производится подготовка площадок в зонах строительства укрытий. Твердые отходы с открытых площадок загружают во временные контейнеры, если они не были контейнеризованы, при необходимости фрагментируя на месте. Не подлежащие фрагментации крупногабаритные отходы и контейнеры с ТО размещают на соответствующее транспортное средство и доставляют в здание 67 или в зону укрытий № 1, 2 на промежуточное хранение.

II этап. Сооружение укрытий над хранилищами ТРО для предотвращения распространения загрязнений при проведении работ по разгрузке хранилищ и защиты отходов от атмосферного воздействия. Предлагается создание двух укрытий из легких строительных конструкций:

- укрытие 1 – над сооружениями 7, 7А и площадкой между ними;
- укрытие 2 – над сооружениями 7Г, 7Б, 7Б1, 7Е и площадкой между сооружениями 7Г и 7Б1.

III этап. Строительство здания переработки ТРО и нового хранилища кондиционированных РАО. Выбраны следующие места строительства: здания переработки ТРО - между зданием 67 и площадкой хранения ТРО, нового хранилища - между пирсом и площадкой хранения ТРО.

IV этап. Переработка низкоактивных ТРО, поступающих из здания 67 во временных контейнерах КТ-1500, что позволит освободить площади здания 67 под «маневренное» (хранение упаковок ТРО до ввода в эксплуатацию нового хранилища).

V этап. Переработка ТРО, хранящихся под укрытиями 1 и 2 (с открытых площадок и перекрытий заглубленных бетонных отсеков). После освобождения отсеков хранилищ проводятся также работы в укрытии 1 по очистке, фрагментации, дроблению бетонных плит и бетонных балок. Вторичные отходы от скрайбирования (мелкая крошка) загружают в бочки с последующим цементированием или подпрессовкой.

VI этап. Работы в укрытии 1 по извлечению ТРО из отсеков заглубленных хранилищ с помощью мобильных дистанционно управляемых технических средств.

При обнаружении в отсеках воды проводится их осушка. ЖРО удаляют в передвижную емкость.

ТРО сортируют, размещают в соответствующие контейнеры и направляют на переработку или соответствующее обращение. После извлечения ТРО производится очистка поверхностей заглубленных отсеков.

VII этап. Работы в укрытии 2. Проводится вскрытие обваловки с помощью экскаватора или бульдозера. Загрязненный грунт после радиационного контроля загружают в контейнеры, чистый грунт отправляют в отвал. Затем извлекают ТРО отсеков заглубленных хранилищ с помощью мобильных дистанционно управляемых технических средств (см. этап VI ТРО).

VIII этап. Работы по извлечению ТРО из отсеков сооружения 67А и бетонного блока 7Д. Предварительно над каждым из отсеков сооружения 67А и над бетонным блоком 7Д сооружается легкое укрытие. Технология извлечения аналогична технологии, описанной в этапе VI.

IX этап. Работы по очистке (деактивации, скрайбированию) радиоактивно загрязненных бетонных поверхностей хранилищ после удаления ТРО, разборке конструкций (в случае принятия решения о ликвидации сооружений).

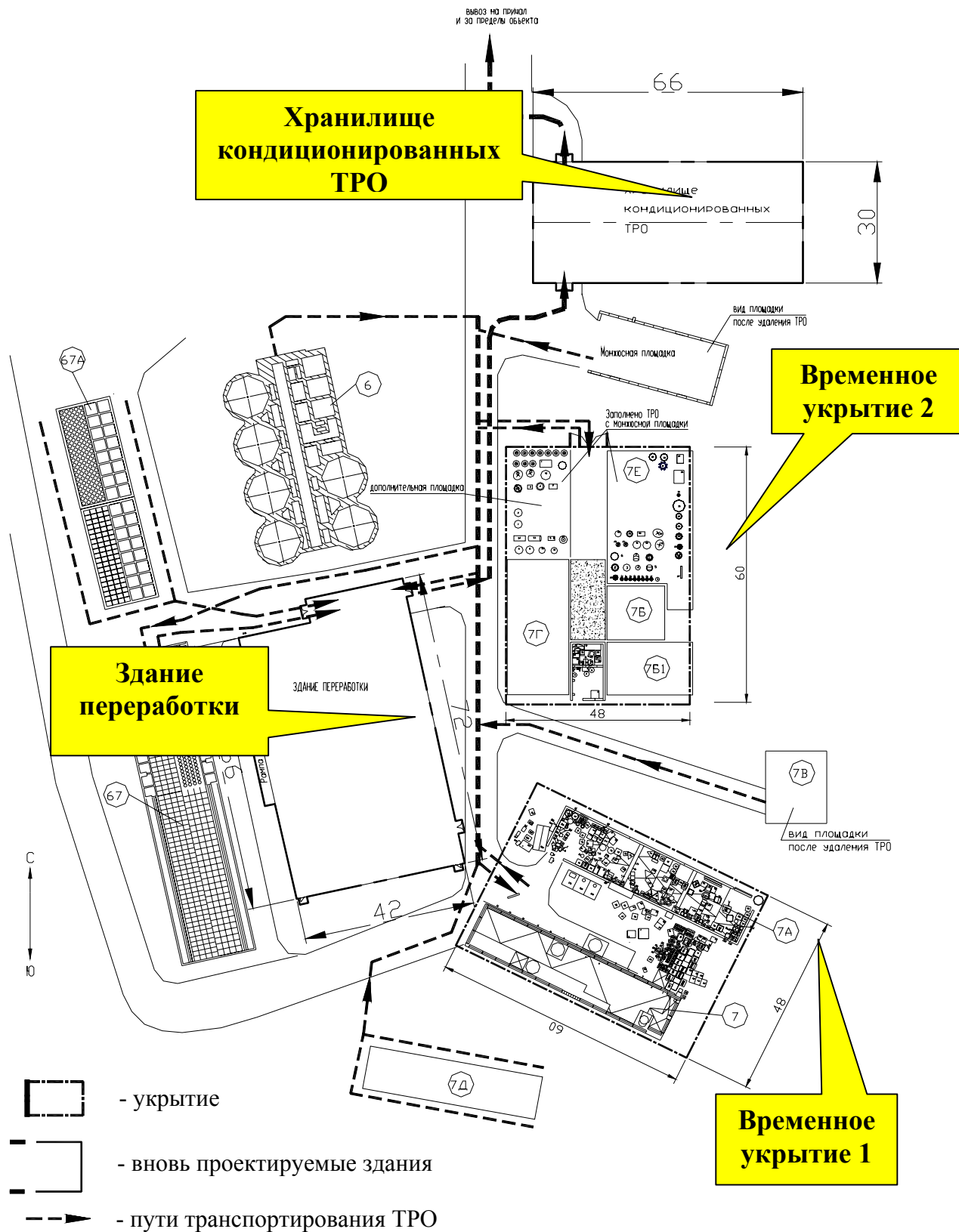


Рис. 2. Вид объекта после очистки открытых площадок, строительства укрытий, комплекса переработки ТРО и хранилища кондиционированных ТРО

4.3. Концептуальная технологическая схема обращения с различными видами ТРО

Концептуальная схема обращения с накопленными и вновь образующимися твердыми отходами объекта в губе Андреева, представленная на рис. 3, состоит из стадий сбора, классификационной сортировки, переработки, формирования упаковки, долговременного хранения упаковок РАО.

Специфичность этих стадий состоит в следующем:

1) Удаление твердых отходов (ТО) с открытых площадок и закрытых сооружений, где они содержатся, на промежуточное хранение и/или переработку.

На этой стадии выполняются следующие технологические операции с отходами:

- сбор с территории и извлечение из отсеков,
- предварительная сортировка и фрагментация накопленных отходов и от разборки строительных конструкций,
- дезактивация строительных конструкций;
- загрузка неупакованных отходов и фрагментов в контейнеры, отходов от дезактивации – в бочки;
- загрузка в бочки загрязненного грунта от реабилитации территории открытых площадок,
- транспортирование контейнеров, бочек и крупногабаритных ТРО с открытых площадок на промежуточное хранение в здание 67 или зону укрытий № 1, 2 (для защиты от атмосферных воздействий до ввода комплекса переработки отходов),
- транспортирование контейнеров, бочек и крупногабаритных ТРО из здания 67 и зон укрытий № 1, 2 на переработку во вновь построенное здание переработки.

2) Входной контроль (с целью повторной сортировки) **и учет** контейнеров, бочек и крупногабаритных ТРО осуществляют при поступлении отходов в здание переработки. Далее проводят **осушку** (при необходимости) **контейнеров с отходами, извлечение** отходов из контейнеров и **передачу** на сортировку.

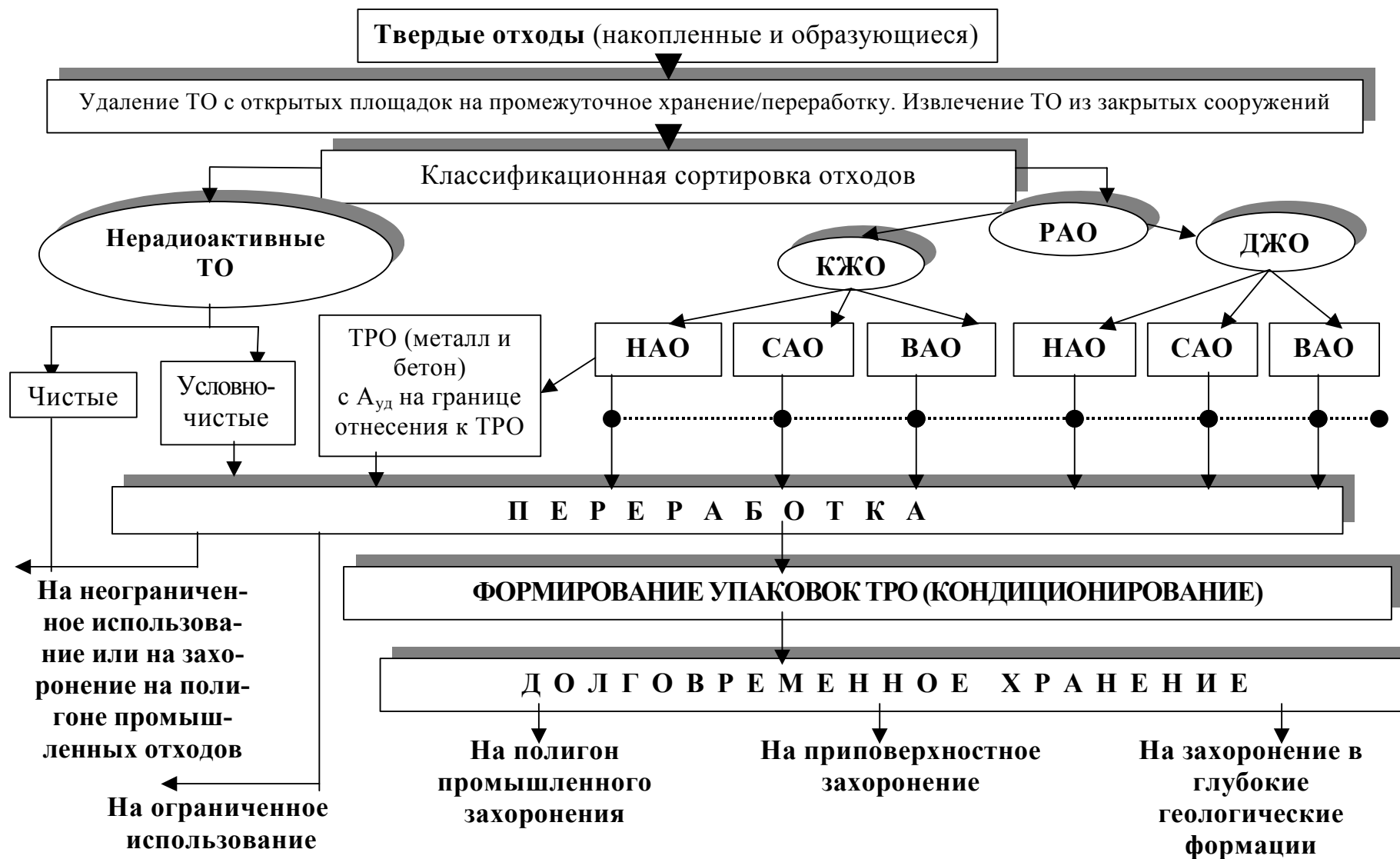


Рис. 3. Принципиальная концептуальная схема обращения с твердыми отходами объекта в г. Андрева

3) Классификационная сортировка отходов является важнейшей технологической операцией обращения с РАО, направленной на формирование потоков отходов по способам переработки, хранения и последующего захоронения.

Критериями предлагаемой системы классификации твердых отходов являются:

- происхождение (источники образования) отходов;
- радиационные параметры: мощность экспозиционной или эффективной дозы, удельная активность, радионуклидный состав, срок потенциальной опасности отходов;
- физическо-химические свойства: горючие и негорючие, мягкие, метал, бетон, грунт;
- методы переработки: дезактивируемые, прессуемые, переплавляемые, фрагментируемы, неперерабатываемые отходы;
- массогабаритные параметры отходов: крупногабаритное фрагментируемое оборудование, крупногабаритное нефрагментируемое оборудование, длинномерные изделия, толстостенный и тонкостенный металл.

Сортировка твердых отходов осуществляется поэтапно: перед загрузкой в контейнеры при сборе в местах накопления и образования, перед переработкой и (при необходимости) после нее.

Задачами классификационной сортировки являются:

- сокращение объема радиоактивных отходов за счет выделения категории нерадиоактивных отходов, а также части низкоактивных ТРО, которые после дезактивации, переплавки (металл), 30 - 50-летнего хранения могут быть переведены в категорию «чистых» отходов;
- разделение радиоактивных отходов на долгоживущие и короткоживущие РАО. Критерием классификации является срок потенциальной опасности отходов и, соответственно, граничные значения удельной активности долгоживущих α - и β -излучателей (подлежат обоснованию);
- разделение ТРО на группы по способам переработки. Горючие и негорючие; перерабатываемые и неперерабатываемые; низкоактивные, среднеактивные и высокоактивные отходы формируют в отдельные потоки:
 - условно чистые металлические отходы;
 - условно чистые и низкоактивные прессуемые горючие и негорючие отходы;
 - низкоактивные отходы, направляемые на дезактивацию (металл, бетон),
 - низкоактивные фрагментируемые ТРО;
 - неперерабатываемые низкоактивные крупногабаритные ТРО;
 - высоко и среднеактивные отходы, которые не перерабатываются или подлежат фрагментации, обращение с которыми требует использования дистанционных методов, и др. потоки.

4) Переработка различных видов твердых отходов

Предлагаются следующие методы переработки (для минимизации объема и стабилизации формы) отходов, сформированных в процессе сортировки в потоки:

Нерадиоактивные отходы и часть низкоактивных-ТРО:

«Условно-чистые» металлические отходы направляют на фрагментацию и переплавку, после которой неограниченно используют. Часть низкоактивных

металлических отходов проходит дезактивацию и/или переплавку, которые обеспечивают их последующее неограниченное использование. В ТЭИ прорабатывается вопрос целесообразности приобретения модульной установки переплавки. Принимается во внимание эффективность очистки, количество вторичных отходов и сокращение объема отходов, экономические и экологические показатели. В качестве альтернативы рассматривается вывоз металлических отходов на специализированное предприятие переплавки с получением «чистых» слитков, направляемых во Вторчермет.

Часть низкоактивного бетона дезактивируется и фрагментируется. После радиационного контроля отходы могут быть утилизированы (неограниченно и ограниченно использованы). При неостребованности «условно чистых» отходов их направляют на хранение.

«Условно-чистые» мягкие горючие и негорючие отходы подлежат отдельному прессованию в бочках и размещению бочек с прессованными отходами в контейнерах.

Низкоактивные ТРО:

Тонкостенные металлические и мягкие негорючие отходы прессуют в бочке объемом 200 л прессом усилием 100 т. Бочки с прессованными отходами поступают на укладку в контейнеры.

Аналогично прессуют мягкие горючие отходы, сформированные в отдельный поток. Количество прессуемых отходов, по предварительной оценке, составляет 50%, из них 30% составляют горючие отходы.

Крупногабаритные металлические изделия и бетонные блоки, нуждающиеся в фрагментации, фрагментируют на месте и в здании переработки РАО с последующим размещением фрагментов в контейнерах, заполнением пустот цементным раствором и герметизацией упаковки. Требования к фрагментации для дезактивируемого металла определяются технологией дезактивации, фрагментируемого металла – требованием минимизации количества упаковок и размерами контейнеров.

Грунт, размещенный в бочках емкостью 200 л, подпрессовывают и размещают в клетки или контейнеры.

Вторичные твердые отходы от дезактивации и фрагментации (в бочках) омоноличивают методом цементирования. Другие вторичные отходы перерабатывают аналогично накопленным отходам.

Среднеактивные и высокоактивные ТРО

Среднеактивные и высокоактивные ТРО, требующие фрагментации, дистанционно фрагментируют и затем размещают в соответствующие контейнеры.

Неперерабатываемые (нефрагментируемые) крупногабаритные ТРО (включая НАО) из нержавеющей стали - сборки различных типов толстостенные, перегрузочные контейнеры, насосы 1 контура, др., - поступают на длительное хранение без фрагментации.

5) Формирование упаковок ТРО (кондиционирование)

Переработка завершается размещением кондиционированных ТРО в контейнеры, заполнением пустот цементным раствором, герметизацией упаковки, ее маркировкой, радиационным контролем и при необходимости дезактивацией наружной поверхности, подготовкой паспортной документации. В результате переработки и кондиционирования твердых отходов, разделенные на указанные выше потоки, образуются различные виды упаковок РАО (см. табл. 2).

Характеристика используемых контейнеров представлена в табл. 4. Перечень контейнеров является предварительным и на последующих стадиях подлежит уточнению, а массогабаритные параметры – унификации.

Для оптимизации технических решений в ТЭИ рассматривается несколько вариантов переработки ТРО, включая:

- 1 вариант (основной) – переработка отходов с использованием прогрессивной малоотходной технологии жидкостной дезактивации (Россия), которая позволяет отмыть металлические ТРО: НАО и САО до «чистых» и «условно чистых» отходов; ВАО – до отходов низкого уровня активности с последующей переплавкой «условно чистого» металла и получением «чистых» слитков;

- 2 вариант – с использованием переплавки как основного метода сокращения объема отходов и кондиционирования низко- и среднеактивных металлических ТРО с получением «условно чистых» и низкоактивных слитков как упаковок кондиционированных отходов, подлежащих долговременному хранению. При использовании этого варианта переработки возможно наряду с переплавкой металлических отходов осуществить сжигание горючих отходов (НАО и САО).

В таблице 2 приведены результаты расчета по основному варианту. Анализ данных таблицы 2 показал, что переработка твердых отходов позволяет в ~ 3 раза сократить общий объем ТРО, направляемых на кондиционирование, если будут достигнуты при переработке заявленные разработчиками технологий коэффициенты очистки и сокращения объемов, и заметно уменьшить объем ВАО (тоже в ~ 3 раза). Это снижение общего объема ТРО достигается за счет:

- глубокой жидкостной дезактивации металлических ТРО (НАО - в ~6 раз, САО – в ~ 2 раз, ВАО – в ~ 3 раза);
- прессования НАО (в ~ 5 раз);
- дезактивации (очистки) низкоактивного бетона (в ~ 3 раза).

Однако на этапе кондиционирования за счет контейнеризации общее снижение объема, занимаемого упаковками ТРО (объема хранения), достигнет только 1,2 раза. В тоже время при отказе от предложенных методов переработки, ограничиваясь лишь фрагментацией, объем кондиционированных ТРО значительно возрастает по сравнению с первоначальным.

б) Временное хранение кондиционированных отходов

Предусматривается упорядоченное адресное хранение упаковок ТРО в реконструируемом здании 67 (упаковки ВАО и нефрагментируемые металлические ВАО - парогенераторы и насосы) и новом сооружении облегченной конструкции (упаковки с НАО и долгоживущими среднеактивными отходами), при постоянном радиационном контроле, наблюдении и обслуживании с возможностью последующего извлечения и вывоза. Различные виды кондиционированных отходов размещаются в отдельных отсеках (частях штабеля) хранилищ. Все короткоживущие среднеактивные отходы в контейнерах НЗК-150-1,5П направляют на долговременное хранение за пределы объекта. Количество кондиционированных ТРО, направляемых на хранение, представлено в табл. 3.

Таблица 2
Количество ТРО, накопленных до и после переработки и кондиционирования

Наименование ТРО	Количество ТРО до переработки, м ³ (т)	Количество ТРО после переработки							Объем кондиционированных ТРО (объем упаковок ТРО), м ³
		м ³ (т)	Контейнеры, шт.						
			НЗК-150-1,5П	УКТ1А-6*	НЗК-400-0,3	КТ-6000	КТ-2000	Объем ТРО без упаковок (нефрагмент.ТРО)	
1. Низкоактивные отходы	12 770 (13640)	2450 (4820)	–	670	–	80	610	–	4640
2. Среднеактивные отходы:	4040 (3900)	2970 (2700)	2370	–	–	10	–	–	8940
3. Высокоактивные отходы:	700 (1210)	270 (650)	–	–	108	164	–	–	1475
Итого ТРО	17510 (18750)	5690 (8170)	2370	670	108	254	610	210	15055
4. Условно-чистые металлические отходы	–	1300 (2000)							–
5. Чистые металл. отходы	–	6600 (9900)							–
6. Условно-чистый бетон	–	700 (1400)							–

*) - в контейнере УКТ1А-6 размещают семь 200 литровых бочек с отходами после прессования

Таблица 3
Количество кондиционированных ТРО, направляемых на долговременное хранение

Наименование контейнера	Количество контейнеров, шт.			Итого
	Хранение в здании 67	Хранение в новом хранилище	Хранение на другом объекте	
НЗК-150-1,5П	–	710	1660	2370
НЗК-400-0,3	108	–	–	108
УКТ1А-6*		670	–	670
КТ-6000	174	80	–	254
КТ-2000		610	–	610
Объем ТРО без упаковок (нефрагментируемые ТРО)	210	–	–	210
Объем кондиционированных отходов (объем упаковок с ТРО), м ³	1535	7300	6220	15055

*) - в контейнере УКТ1А-6 размещают семь 200 литровых бочек с отходами после прессования

Таблица 4

Перечень и характеристика контейнеров, используемых для формирования упаковок ТРО

Тип и назначение контейнера	Массогабаритные и др. параметры	Разработчик. Изготовитель. Сертификация
НЗК-150-1,5П – хранение/захоронение НАО, САО	1650x1650x1375мм, масса (брутто) до 7,3т, материал - железобетон, вместимость 1,5 м ³ (4 бочки по 200 л), срок службы – 50 лет (хранение). 300 лет (захоронение)	ФГУП «ГИ «ВНИПИЭТ» АО "345 механический завод" (г. Балашиха) Сертификат соответствия Госатомнадзора РФ и заключение Госсанэпиднадзора РФ
УКТ1А-6 (ЯНМИ.305179.012) - транспортирование и хранение НАО (в первичных упаковках вместимостью 0,2 м ³)	Д= 2000 мм; Н= 1400 мм, масса (брутто) до 5,3т, вместимость – 7 бочек, материал - углеродистая сталь, срок службы - не менее 10 лет	ФГУП НИПТБ «Онега» Изготавливается на ФГУП «МП «Звездочка» (Северодвинск Архангельской обл.) Контейнер сертифицирован (отвечает требованиям к транспортным упаковкам типа А)
НЗК-400-0,3 - хранение/захоронение САО, ВАО (в первичных упаковках и без них)	Д=1520 мм; Н=1400 мм, масса (брутто) не более 7,2т, материал - железобетон класса В40	ФГУП «ГИ «ВНИПИЭТ» Л 65.428.01.000 (проект «Мурманская инициатива РФ» для ФГУП «Атомфлот»)
Бочка БН-0,2 - хранение/захоронение мелкогабаритных и «мягких» и др. отходов, грунта (НАО, САО)	Д=602 мм; Н=880 мм, масса (брутто) до 0,6 т, вместимость 0,2 м ³ , материал - углеродистая сталь	СвердНИИХИММАШ Черт А 00.659.000 СБ Черт А95.К01.000.СБ
КТ-6000 – транспортирование, хранение/захоронение крупногабаритных НАО, САО.	2650 x 1650 x 1375 мм, масса (брутто) до 15 т, вместимость 6,0 м ³ материал - углеродистая сталь	Требуется новая разработка
КТ-2000 – транспортирование, хранение/захоронение НАО, САО	1100x1100x1600 мм, масса (брутто) до 5 т, вместимость 2,0 м ³ , материал - углеродистая сталь	Требуется новая разработка
КТ-1500 - хранение «условно – чистых» отходов	1000x1000x1500 мм, вместимость 1,5 м ³ , материал - углеродистая сталь	Изготавливается «СевРАО» и находится в эксплуатации на объекте

Хранение упаковок «условно чистых» отходов может быть организовано на площадке под укрытиями № 1, 2 или на полигонах захоронения промышленных отходов до перевода в категорию «чистых» нерадиоактивных отходов.

Нерешенность проблемы захоронения в Северном регионе вынуждает предусматривать долговременные хранилища на весь объем накопленных и образующихся отходов. Создаваемые хранилища будут эксплуатироваться в течение длительного времени после завершения основных работ по реабилитации объекта и демонтажа установок переработки. По истечении срока хранения упаковки РАО должны быть вывезены на централизованное хранение или захоронение.

5. Состав и характеристика установок и оборудования по переработке и кондиционированию ТРО

В состав здания переработки ТРО входят следующие установки (см. компоновку здания на рис. 4):

- осушки;
- сортировки;
- прессования;
- фрагментации;
- дезактивации;
- омоноличивания ТРО методом цементирования;
- переплавки (малогабаритная модульная установка),
- формирования упаковок (участки размещения первичных упаковок с ТРО в контейнеры, герметизации, радиационного контроля и дезактивации наружных поверхностей упаковок РАО).

Наряду с этими установками, на открытых площадках, под укрытиями и в зданиях, где хранятся отходы, используется дистанционно и недистанционно обслуживаемое оборудование и установки для осушки отсеков хранилищ, извлечения отходов, фрагментации крупногабаритных отходов, дезактивации, выполнения транспортно-технологических операций.

Извлечение ТРО из заглубленных хранилищ

Предусматривается использование мобильных дистанционно управляемых технических средств: грейферных захватов и манипуляторов. Рассматриваются следующие российские и зарубежные установки и оборудование для извлечения ТРО из отсеков хранилищ:

- установка ФГУП «ГИ «ВНИПИЭТ и Московского отделения АЭП (г. Волгоград), конструкторская документация которой разработана на стадии техпроект,
- установка ФГУП НИИПТБ "Онега", конструкторская документация разработана на стадии рабочая документация,
- манипуляторы шведской фирмы SKB. Изготовлен промышленный образец манипулятора, который испытан при извлечении ТРО в Палдиске;
- роботы-манипуляторы разработки НИКИМТ.

Для вскрытия плит и бетонных пробок применяют дистанционно управляемые системы типа BROKK – робот Швеции.

Сушка

Предусматривается использование установки прямого индукционного нагрева разработки ЗАО «СИБТЕХНОМАШ». Изготовлены опытно-промышленные образцы этой установки и имеется лицензия Госатомнадзора РФ №СО-11 -115-0528 от 16.10.01.

Фрагментация (резка)

Рассматривается несколько технологий фрагментации металла: механическая резка, газовая резка, воздушно-плазменная резка, лазерная резка. Могут быть использованы следующие имеющиеся передвижные установки и оборудование резки металла:

- лазерный технологический комплекс ЛТК (ООО РК "Реновация"). Изготовлены опытные образцы установки;
- установка гидрорезки многоцелевого назначения (РФЯЦ-ВНИИТФ). Разрабатывается конструкторская документация и проведены заводские испытания комплекта оборудования;
- воздушно - плазменная резка (ФГУП «ГИ «ВНИПИЭТ»). Разработан проект установки фрагментации для СРЗ "Нерпа";
- абразивная резка (ФГУП "ГИ ВНИПИЭТ"), разработан проект установки фрагментации для СРЗ "Нерпа".

Для фрагментации длинномеров (стержней СУЗ) можно использовать технологию механической резки Шведской фирмы SKB, которая применялась для аналогичных работ в Палдиске и имеется опыт выполнения этих работ. Имеется действующее оборудование, внедренное для резки стержней СУЗ в Палдиски.

Разборку и фрагментацию бетонных и железобетонных конструкций и изделий осуществляют с использованием механического, лазерного и др. выше перечисленных способов. Измельчение бетона можно производить механическим способом. Предлагается использовать (наряду с выше перечисленными установками) передвижную установку резки бетонных плит, балок, блоков BROKK robot фирмы Studsvik SINA. Изготовлены промышленные установки).

Сортировка

В здании переработки РАО организуется бокс сортировки отходов, за аналог которого можно принять:

- бокс сортировки НАО разработки ФГУП «ГИ «ВНИПИЭТ», рабочая конструкторская документация согласована. Изготовлено оборудование на «Изотерме»;
- бокс сортировки САО (НАО, САО, ВАО) разработки ФГУП «ГИ «ВНИПИЭТ. Техническое предложение согласовано с ФУ «Медбиоэкстрем» РФ, государственным Комитетом по охране окружающей среды РФ и СЕМТО ГАН РФ;
- бокс сортировки НАО, разработанный и внедренный в эксплуатацию французской фирмой SGN на заводах «Звезда» и «Звездочка». Оборудование сортировки отходов среднего уровня активности разрабатывается СНИИХМ. Имеется готовое оборудование этой фирмы.

Для решения поставленных перед системой классификации задач может потребоваться дооснастка боксов установками (приборами) неразрушающего контроля

радионуклидного состава и удельной активности отдельных радионуклидов, содержащихся в отходах.

В качестве переносных установок для контроля упаковок ТРО предлагается система контроля «Изокарт».

Дезактивация металла

Очистку поверхности металла от следов органических покрытий: лакокрасочных, смазки, рыхлых продуктов коррозии пр. можно осуществить механическим и химическим способами. Рассматриваются следующие методы дезактивации металлического лома: жидкостная дезактивация и как ее вариант - глубокое травление, электрохимическая, переплавка с выведением радионуклидов в шлак. В качестве аналогов предлагаются следующие установки и оборудование:

- ванна дезактивации мелкого оборудования. Объем ванны – 1 м³. Разработка «ФГУП «ГИ ВНИПИЭТ» и С-Пб АЭП. Выполнена рабочая конструкторская документация, которая согласована с ВО "Безопасность",
- установка ванновой дезактивации металла, загрязненного в результате аварии на ЧАЭС, растворами на основе тетрафторборной кислоты. Объем ванны - 15 м³. Загрузка - 1 - 3 т. Разработчик а - фирма “Ресайтек”, Швейцария. Разработчик оборудования и конструкторской документации (КД) - фирма АВС, Германия. Проект и КД на модернизацию способа и оборудования - ФГУП “ГИ” ВНИПИЭТ”. Проект выполнен в 1989 г. РД – в 1991 г. Пуск в эксплуатацию после модернизации – в 1996 г. Промышленная эксплуатация с 1996 - 97 г.г;
- комплекс передвижных мобильных установок дезактивации помещений и оборудования Реализуемые способы дезактивации: струйный, парожекционный, электрохимический, механический, защитно-аккумулирующими покрытиями. Разработка «ФГУП «ГИ ВНИПИЭТ» и С-Пб АЭП. Выполнен технический проект;
- устройство пароэмульсионной дезактивации (парожекционный распылитель РП-1М). Разработка ФГУП «ГИ «ВНИПИЭТ». Завод изготовитель - Волжский машиностроительный завод. Находится в эксплуатации на Объектах Минатома и Минобороны РФ;
- дезактивация сухим льдом. Разработка компании Cold Jet Inc. USA. Имеется действующая установка RDS-500CUB;
- парообразивная дезактивация. Разработка эскизного проекта ФГУП “ГИ” ВНИПИЭТ”. Разрабатывается КД;
- электрохимическая дезактивация. Ручная установка электрохимической дезактивации. Производительность дезактивации до 1,0 м²/мин. Разработка ФГУП «ГИ «ВНИПИЭТ». Находится в эксплуатации (единичное изделие);
- электрохимическая дезактивация. Удельная активность ТРО 1,25 10⁻⁴ Ки/см³. Поверхностное загрязнение: 100-500 β-частиц/см²·мин. Проект разработан ФГУП «ГИ «ВНИПИЭТ». Оборудование французской фирмы SGN. Находится в эксплуатации на ФГУП МП "Звездочка" и ДВЗ "Звезда".

Переплавка металла

- установка плавления металла. Разработка Фирма Studsvik RadWaste. Изготовлена промышленная установка;
- установка плавления металла "ЭКОМЕТ-С". Разработка "ЭКОМЕТ-С". Изготовлена промышленная стационарная установка;
- технологический модуль переплавки металлических радиоактивных отходов. Проект опытно-промышленного комплекса разработан ФГУП КГПИИ «ВНИПИЭТ» и ГУ НИИЦ «Кристалл».

Очистка бетона

Рассматриваются три технологии очистки загрязненных бетонных поверхностей (скрайбирование) бетона: использование экзотермических металлизированных смесей (Мос НПО «Радон»), гидрорезка/гидроочистка (механический способ), лазерное скрайбирование. Аналогами передвижной установки (метода) дезактивации бетонных плит, балок, блоков являются:

- установка BOLERO Фирма Studsvik SINA Изготовлены промышленные установки;
- мобильный ЛТК ООО РК "Реновация" Изготовлены опытные образцы установок;
- пиррофорный метод Мос НПО "Радон";
- гидрорезная установка многоцелевого назначения (РФЯЦ-ВНИИТФ).

Прессование

Рассматриваются следующие аналоги оборудования и установок прессования «мягких» отходов низкого уровня активности:

- пресс (установка прессования), разработанный и внедренный в эксплуатацию фирмой LM и SGN на «Звезде» и «Звездочке»;
- установка прессования в бочках. Усилие пресса - 100 т. Проект ФГУП "ГИ "ВНИПИЭТ". Готовое оборудование может быть предоставлено фирмой Lockheed Martin (США).

Цементирование

Рассматривается установка цементирования зольных остатков для БТБ 928-111, 927-11. Цементирование вторичных ТРО (от фрагментации металла, очистки от продуктов коррозии, дезактивации) осуществляют в бочках 200 л. Разработка ФГУП «ГИ «ВНИПИЭТ» (рабочая КД). Для омоноличивания ТРО в контейнере можно использовать метод пропитки высокопроницающими цементными растворами, разработанный МосНПО «Радон».

6. Заключение

К настоящему времени в рамках Российско-Шведского сотрудничества проработаны концептуальные вопросы обращения с твердыми отходами, накопленными на объекте в г. Андреева. Намечены этапы реализации концепции обращения с РАО, разрабатываются принципиальные технологические схемы переработки с различными группами отходов, выполняются расчеты материальных балансов, выбираются контейнеры для хранения и транспортирования РАО, начат подбор установок и оборудования и предложены компоновочные решения здания переработки отходов и размещения новых зданий и укрытий на генплане объекта.

Для ускорения решения проблемы реабилитации объекта необходимо использование опыта зарубежных фирм в разработке и использовании установок и оборудования по обращению с РАО. Мы заинтересованы в поступлении предложений зарубежных фирм по установкам переработки ТРО. При окончательном выборе предпочтение будет отдано действующим (или находящимся в завершающей стадии разработки) установкам, характеризующимся:

- мобильным исполнением, легкой доставкой и сборкой, несложным демонтажом;
- низкими стоимостными показателями,
- простой технологией переработки,
- легкостью в управлении,
- минимумом вспомогательных систем и обслуживания,
- ремонтпригодностью,
- универсальностью,
- небольшим объемом образующихся вторичных отходов.

Представляют также интерес предложения зарубежных организаций по контейнерам, необходимым для формирования упаковок с РАО. В России из всего рассмотренного выше парка контейнеров разработаны, сертифицированы и находятся в промышленной эксплуатации лишь немногие. Мы заинтересованы в использовании существующих зарубежных контейнеров серийного производства. Предлагаемые контейнеры должны отвечать требованиям нормативной документации РФ, характеризоваться долговечностью, а также оптимальными технико-экономическими показателями.

Помимо предложений по поставке оборудования в рамках международного сотрудничества для создания комплекса переработки и хранения ТРО целесообразно ускорение разработки предпроектных и проектных материалов и финансирование этих работ зарубежными инвесторами.

Для ускорения решения проблемы реабилитации объекта необходимо признание Правительством РФ современного статуса объекта в губе Андреева как “аварийного и радиационно-опасного объекта”. Это позволит:

- упростить процедуры сертификации импортного технологического и транспортного оборудования;
- упростить ряд требований нормативной документации Госатомнадзора РФ путем разработки нормативного документа (стандарта предприятия);
- начать поэтапное решение комплекса задач по обращению с ТРО с использованием упрощенных процедур согласования проектных и конструкторских документов и отдельных видов работ.