

*Международная научно-практическая конференция
«25 лет СНГ. Новые возможности интеграции и партнерства»*

**Вопросы обеспечения ядерной и
радиационной безопасности при выводе
из эксплуатации реакторной установки
БН-350**

С. Андропенков

АО «НАК «Казатомпром»

30 июня 2016г.

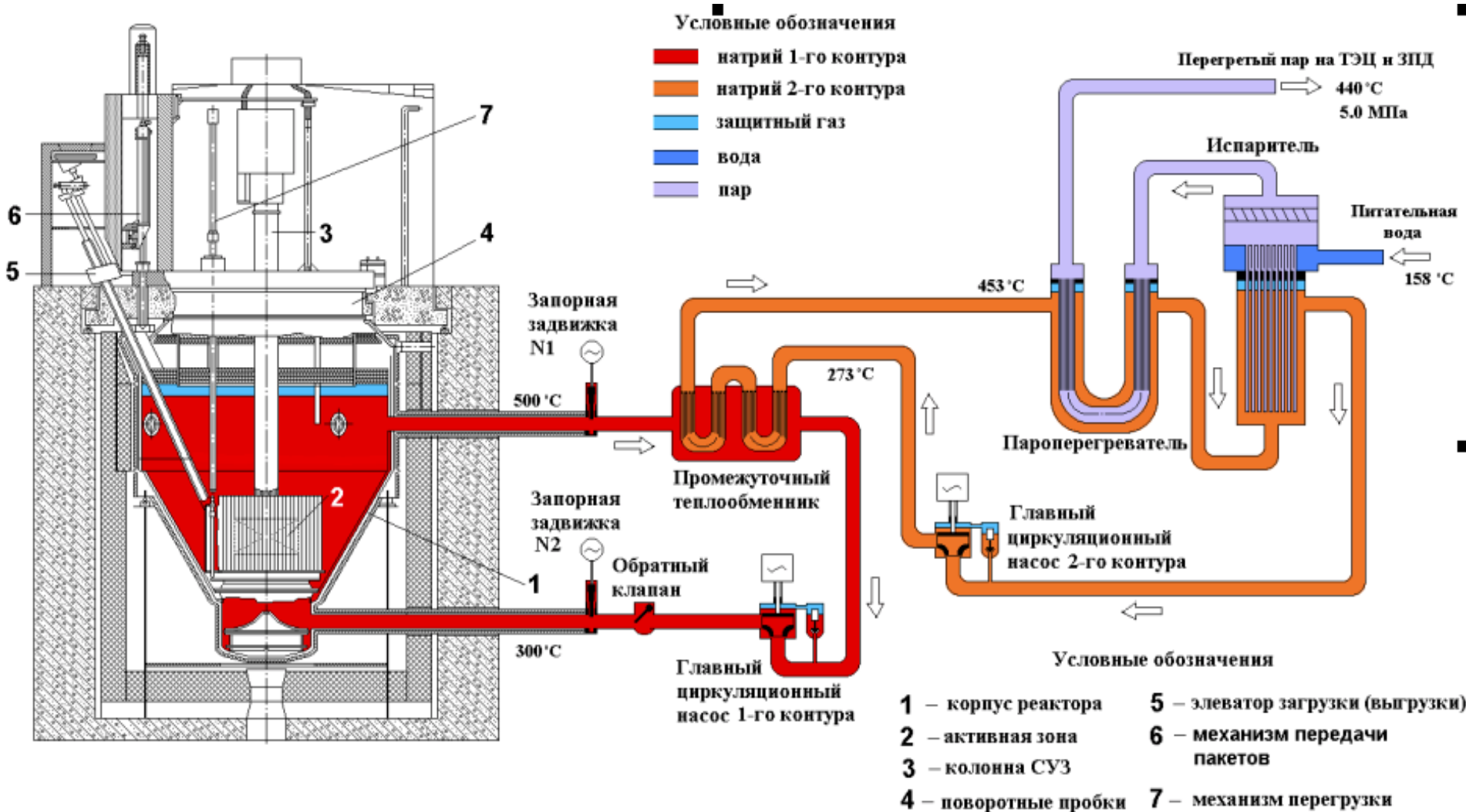
Реакторная установка БН-350

- **БН-350** - первый в мире опытно-промышленный реактор на быстрых нейтронах с жидкометаллическим теплоносителем.
- Проектная тепловая мощность составляет **1000 МВт**.
- Физический пуск осуществлен **29.11.1972 г.**
- Энергетический пуск осуществлен **16.07.1973 г.**
- Постановлением правительства РК решение о снятии с эксплуатации принято **22.04.1999 г.**



Реактор БН-350 петлевого типа с трехконтурной схемой теплоотвода (натрий-натрий-пар/вода)

Принципиальная технологическая схема



*Цель, основание, концепция и критерии вывода
из эксплуатации РУ БН-350*

Цель:

- Снижение негативного воздействия объектов атомной отрасли на здоровье граждан и состояние окружающей среды.

Основание:

- Постановление Правительства РК №456 от 22.04.1999г.

Концепция вывода из эксплуатации РУ БН-350:

- Приведение реакторной установки в состояние безопасного длительного хранения и поддержание в этом состоянии в течение 50-ти лет.

Критерии достижения цели:

- Ядерная безопасность РУ БН-350;
- Радиационная безопасность РУ БН-350;
- Пожарная безопасность РУ БН-350;
- Промышленная безопасность РУ БН-350.

Стратегия вывода из эксплуатации РУ БН-350

Основные этапы:

1. Приведение реакторной установки БН-350 в состояние длительного безопасного хранения

Критерии завершения этапа:

- ядерное топливо выгружено из РУ БН-350 и размещено на долговременное хранение;
- жидкометаллический теплоноситель удален из РУ, переработан, радиоактивные продукты переработки помещены на долговременное хранение;
- радиоактивные отходы переработаны и помещены на долговременное хранение;
- обеспечен радиационный мониторинг РУ БН-350, санитарно-защитной зоны и зоны наблюдения;
- определен состав систем и оборудования, оставляемых в эксплуатации, демонтируемых и консервируемых;
- выполнены работы по демонтажу и консервации.

2. Длительное безопасное хранение

Критерии завершения этапа:

- истекает 50-летний срок хранения;
- принято решение о начале работ по реализации проекта демонтажа оборудования и захоронения отходов.

3. Частичный или полный демонтаж оборудования, зданий, сооружений и захоронение отходов

Критерии завершения этапа:

- выполнен частичный или полный демонтаж оборудования, зданий и сооружений, проведены полная дезактивация и реабилитация территории.

ПЛАН

первоочередных мероприятий по выводу из эксплуатации реактора БН-350 в г. Актау

Утверждается министром энергетики и минеральных ресурсов РК и состоит из пяти основных направлений, в которые включены следующие мероприятия:

1. Мероприятия по размещению отработанного топлива реактора БН-350 на долговременное хранение;
2. Мероприятия по обращению с жидкометаллическим теплоносителем реакторной установки БН-350;
3. Мероприятия по обращению с жидкими радиоактивными отходами РУ БН-350;
4. Мероприятия по обращению с твердыми радиоактивными отходами РУ БН-350;
5. Мероприятия по подготовке зданий, сооружений и инженерных систем РУ БН-350 к безопасному длительному хранению.

Мероприятия по размещению отработанного топлива реактора БН-350 на долговременное хранение

- Полная выгрузка ТВС из активной зоны реактора
- Упаковка и стабилизация отработавших ТВС в герметичные чехлы
- Разработка проекта ТУК МБК, нестандартизированного оборудования, оснастки и приспособлений
- Разработка проектов площадок ВХОЯТ, ДХОЯТ и перегрузки
- Изготовление, испытания и лицензирование ТУК МБК
- Сооружение площадок ВХОЯТ, ДХОЯТ и перегрузки, изготовление нестандартизированного оборудования, оснастки и приспособлений
- Транспортировка и размещение ТУК МБК с ОЯТ на площадке ДХОЯТ

Упаковка отработавшего ядерного топлива

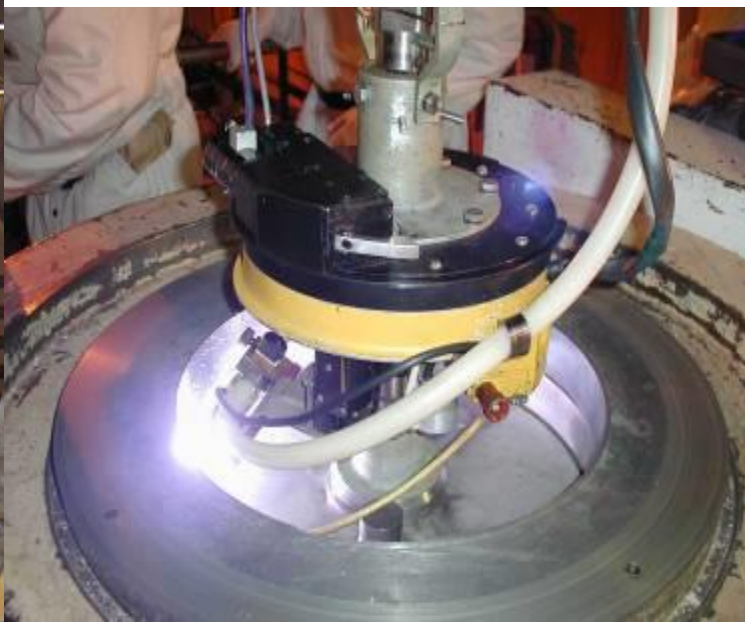
Период проведения упаковки ОЯТ:

– **декабрь 1998 - июнь 2001 года**

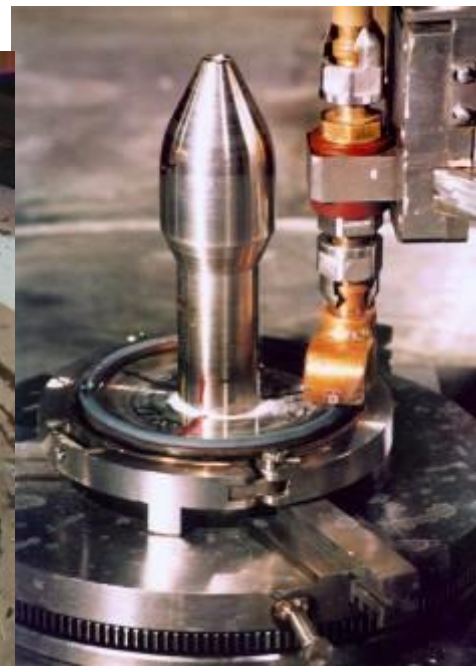
- Реализация процесса упаковки происходила поэтапно, включая:
- упаковку ОТВС, выгруженных из реактора в период эксплуатации реакторной установки, и размещавшихся на хранении в бассейнах выдержки;
- упаковку ОТВС, выгружаемых из реактора;
- упаковку дефектных и разобранных ОТВС, и их стабилизацию



**Заварка замыкающего
сварного шва чехла
сварочным автоматом
«Комета»**



**Сварка
стабилизатора
дефектного ОЯТ**



Результаты работ по упаковке ОЯТ

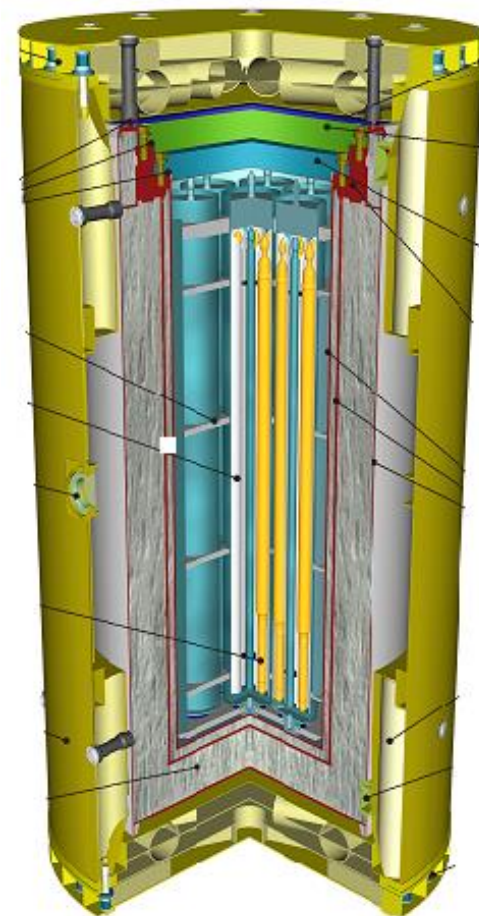
- Отработавшее ядерное топливо упаковано в герметичные шестиместные и четырехместные чехлы, размещенные в 69-ти перегрузочных корзинах.
- Корзины установлены на штатных местах в бассейнах выдержки.
- Всего в ходе реализации проекта упаковано **478** чехлов с ОЯТ, из них:
 - **шестиместных - 418 чехлов**
 - **четырёхместных - 60 чехлов**

Корзина с упакованными чехлами под водой



Разработка контейнера

- Разработано, согласовано и утверждено Техническое задание на разработку ТУК.
- Разработаны, согласованы и утверждены «Систематизированные исходные данные для конструирования и лицензирования ТУК (СИД)».
- Разработана конструкция и выполнено расчетное обоснование ТУК вместимостью 8 чехлов с ОЯТ.
- Разработан Технический проект ТУК.
- Выполнены работы по проведению измерений ослабления нейтронного потока моделью бетонной стенки контейнера (в обеспечение гарантий МАГАТЭ для ТУК).



Разработка контейнера

Параметры

Вместимость : 8 Ч-4 и/или Ч-6.

ТУК состоит:

- Упаковочного комплекта хранения (УКХ)
- Защитно-демпфирующего кожуха (ЗДК).

Размеры и вес :

- УКХ:

Вес нетто ≤ 86 t высота -
5125 mm

Вес с ОЯТ ≤ 98 t диаметр -
2400 mm

- ЗДК :

вес - 26.2 t длина - 6300
mm

внешний диаметр - 3140 mm

- ТУК:

вес нетто ≤ 112.2 t длина
- 6300 mm

вес с ОЯТ ≤ 124.2 t

диаметр - 3140 mm



Загрузка чехлов с ОЯТ в УКХ



Транспортировка ТУК



Итоги размещения ОЯТ РУ БН-350 на долговременное хранение

60 УКХ с ОЯТ размещены на ДХОЯТ



Мероприятия по обращению с жидкометаллическим теплоносителем РУ БН-350

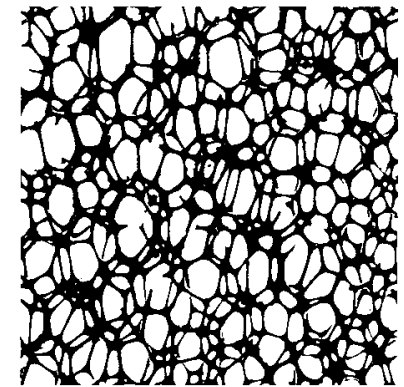
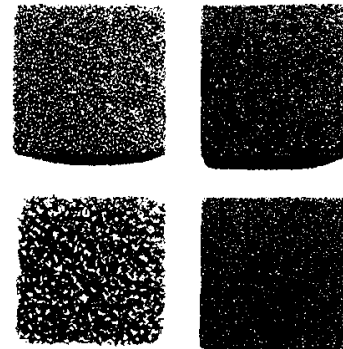
- **Очистка теплоносителя первого контура от радионуклидов цезия. Удельная активность натрия 1 контура после завершения процесса очистки - 10 мкКи/кг (370Бк/г);**
- **Сверление напорного коллектора реактора на глубине более 13,4 м в натриевой среде с температурой 280...300°С для дренирования теплоносителя;**
- **Дренирование теплоносителя из корпуса реактора БН-350 в баки системы хранения натрия 1 к;**
- **Утилизация натрия второго контура в производственном процессе АО «УМЗ»;**
- **Переработка содержимого (смесь натрий-калия и масла) барабана отработавших пакетов (ВОП) методом водомасляной отмывки на специальном стенде;**
- **Удаление остатков натрия методом парогазовой отмывки и гидрокарбонизации;**
- **Проекты УПН и УП ГЦК по утилизации натрия первого контура и натрий-калиевого сплава.**

Очистка теплоносителя 1-го контура от Cs-137

Сорбент RVC
внутри ловушки

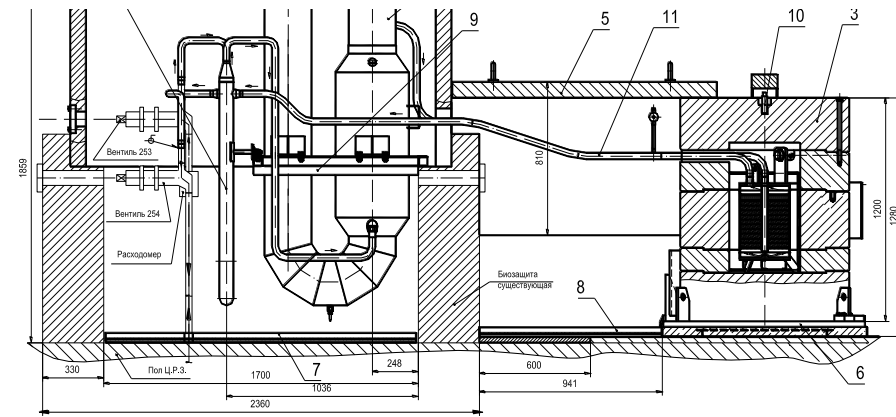


- Цель проекта:
снижение количества радиоактивного цезия в первом контуре реакторной установки БН-350.
- Начальная активность цезия в 1 контуре: $3,7 \times 10^{14}$ Бк (10000 Ки), удельная активность – $7,25 \times 10^8$ Бк/кг натрия или (19 мКи/кг)
- Удельная активность натрия 1 контура после завершения процесса очистки снижена в 2000 раз: $3,7 \times 10^5$ Бк/кг (10 мкКи/кг)



Образцы материала RVC с различной пористостью

Увеличенный снимок материала RVC, демонстрирующий структуру с открытыми порами



Дренирование натрия первого контура

Полномасштабный стенд для сверления внутрикорпусных конструкций реактора



Система водомасляной переработки содержимого барабана отработавших пакетов РУ БН-350



Принцип переработки основан на реакции сплава 22%Na-78%K с водой и образованием 40% щелочи.



Для замедления протекания реакции вода перемешана с маслом и использовалась в виде 5% эмульсии, а сплав подаётся порциями по 20 литров.

Работы по СУОН



Извлечение в/ч задв 2/1 из СШМ после парогазовой отмывки



Задвижка 1 и обратный клапан петли №1



ГЦН-3

Натрий в трубопроводах Ду 500 над ТО №1



Установка по переработке натрия УПН



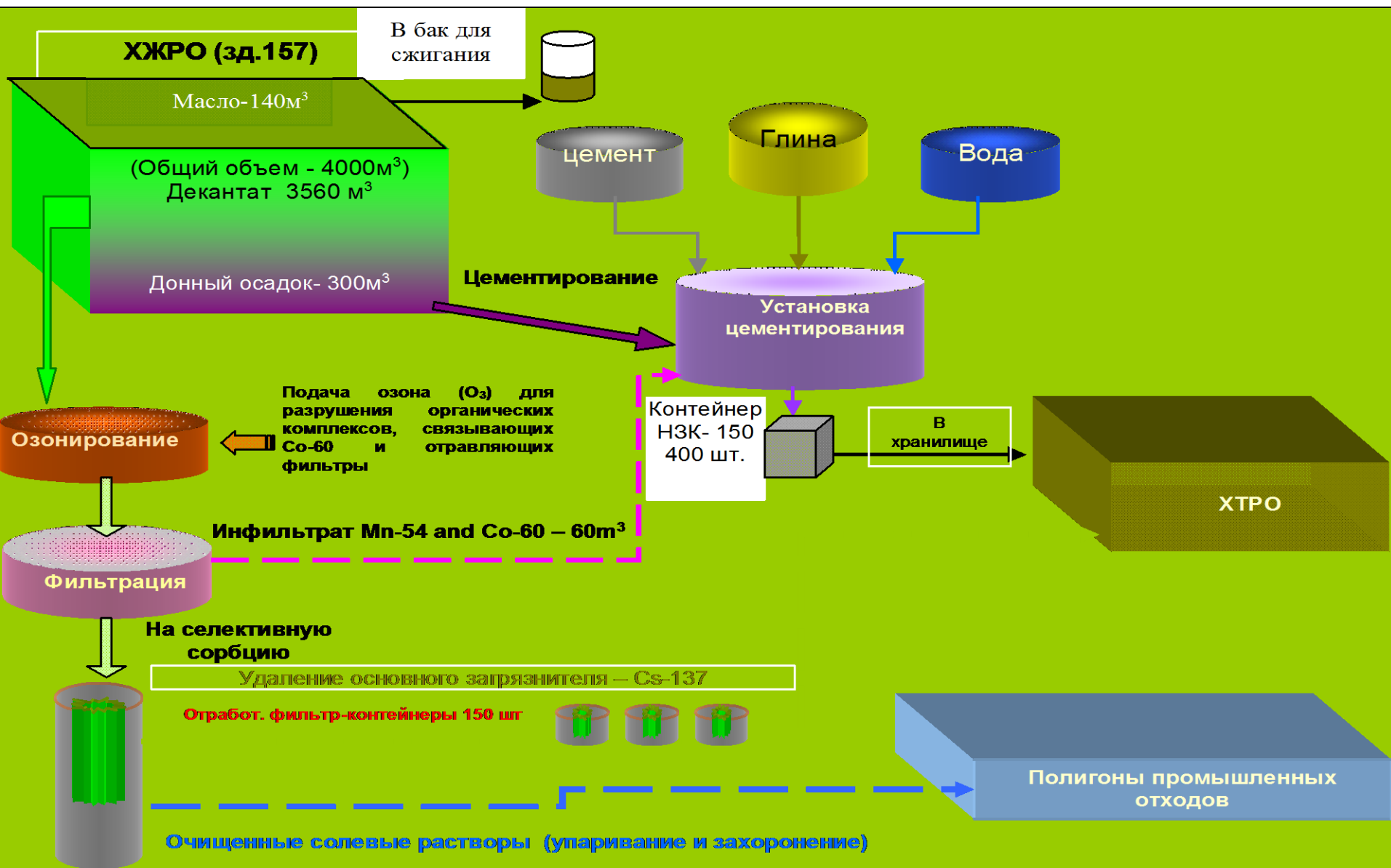
В рамках реализации проекта будет осуществлена переработка 610м³ натрия 1-го контура и 20м³ сплава натрий-калий в 35 % щелочь (объемом \approx 2200м³), для последующего перевода в геоцементный камень на УП ГЦК.

Переработка жидких и твёрдых радиоактивных отходов

Для переработки жидких и твердых радиоактивных отходов образованных за период эксплуатации РУ БН-350 предлагается следующий комплекс установок:

- установка ионоселективной очистки ЖРО;
- Установка цементированья;
- установка прессования твердых радиоактивных отходов в металлические бочки;
- установка сжигания твердых и жидких радиоактивных отходов;
- склад для промежуточного и длительного хранения бочек и контейнеров

Схема обращения с ЖРО

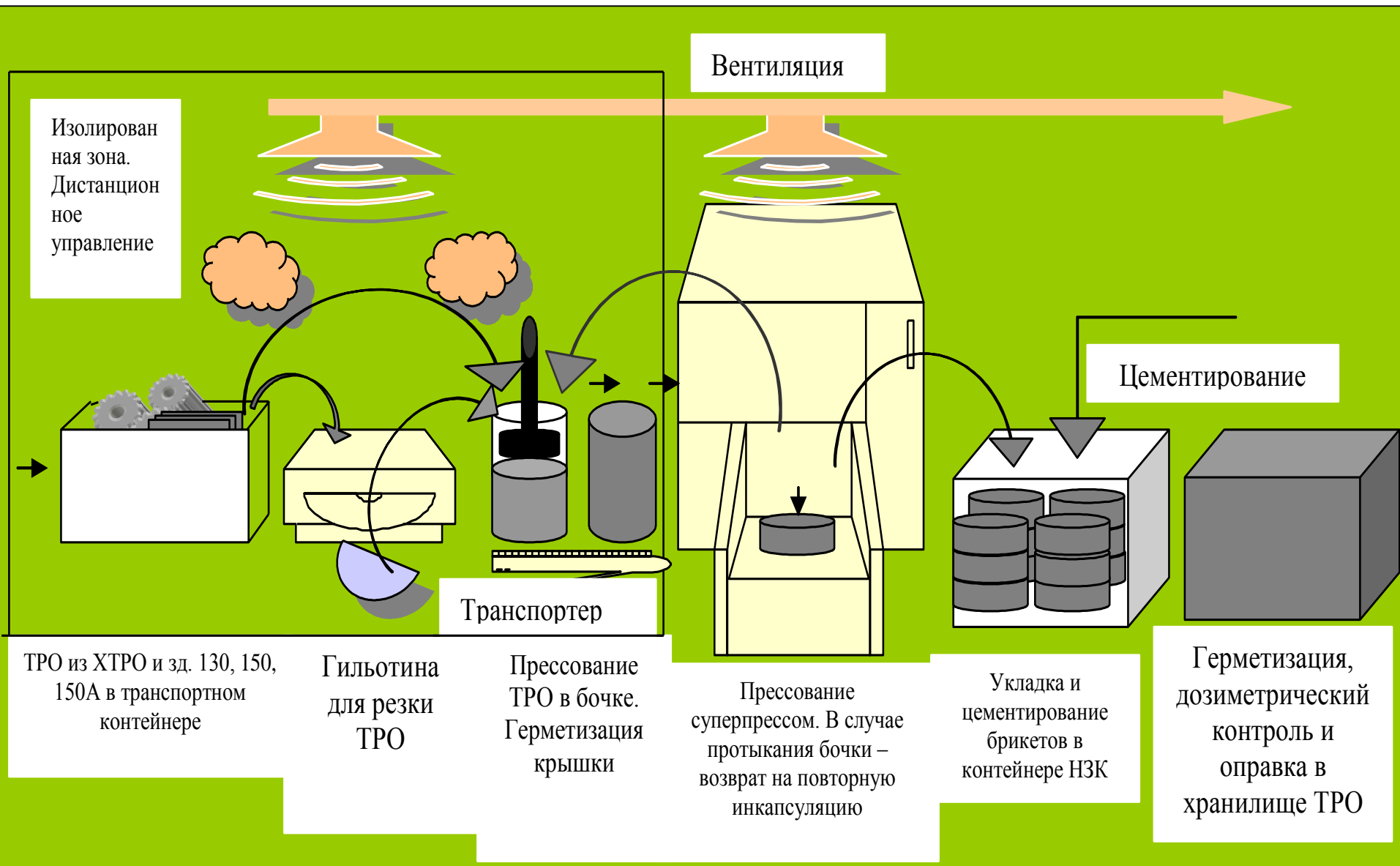


План обращения с ЖРО

- Переработка доупариванием с дренированием осадка в хранилище ХЖРО и доочисткой конденсата на ионообменных установках;
- Двухступенчатая очистка декантатов ЖРО от радионуклидов;
- Озонирование и фильтрация декантата с целью удаления шлама с последующей иммобилизацией инфильтрата в цементной матрице в контейнерах НЗК;
- Селективная сорбция основного радионуклида Cs-137 с последующим удалением фильтр-контейнеров как высокоактивные ТРО;
- Подъем накопившихся пульп и осадков и их последующее отверждение методом цементирования;
- Размещение цементного компаунда в невозвратные железобетонные контейнеры;
- Транспортировка спецтранспортом и размещение контейнеров НЗК в специальном хранилище ТРО (здание 158А).

Обращение с твёрдыми радиоактивными отходами

Схема кондиционирования ТРО



Проблемы, требующие решения:

- Приведение 14 холодных фильтров - ловушек первого и второго контура в состояние радиационной и пожарной безопасности для размещения на долговременное хранение
- Обращение с отработанными фильтрами спецвентиляции
- Переработка натрия 1-го контура и натрий-калиевого сплава
- Переработка ЖРО и ТРО