

**УТВЕРЖДАЮ**

Заместитель генерального директора -  
Главный конструктор ОАО «ИЦЯК»

\_\_\_\_\_ А.А.Зубков

«\_\_\_»\_\_\_\_\_ 2010 г.

**Установка переработки илов бассейнов выдержки ОЯТ РЗ**

Обоснование безопасности

Отчет

02-067 Д

**РУКОВОДИТЕЛЬ РАБОТЫ**

Зам. главного конструктора

\_\_\_\_\_ А.В.Родин

«\_\_\_»\_\_\_\_\_ 2010 г

## Содержание

Список сокращений.....	3
Термины, определения .....	5
Введение.....	7
1 Общие сведения.....	10
2 Характеристика размещения РЗ.....	14
3 Характеристика зданий и сооружений.....	16
4 Характеристика исходного и конечного продуктов.....	19
5 Теоретические основы процесса кондиционирования донных отложений.....	35
6 Описание работ на установке	39
7 Характеристика основных источников опасности.....	43
8 Радиационная безопасность.....	48
9 Противопожарные мероприятия.....	60
10 Анализ возможных аварийных отклонений от нормального хода технологического процесса.....	62
8 Заключение.....	63

## **Список сокращений**

**ДХ** – долговременное хранище

**ЖРО** – жидкие радиоактивные отходы

**НД** – нормативные документы

**МКФ-керамика** – магний-калий-фосфатная керамика

**МЭД** – мощность экспозиционной дозы;

**ОАО** – открытое акционерное общество;

**ООТ и РБ** – отдел охраны труда и радиационной безопасности;

**ОСТ** – отраслевой стандарт;

**ОЯРБ** – обеспечение ядерной и радиационной безопасности;

**ОЯТ** – отработанное ядерное топливо;

**ПБ** – промбассейн;

**ПДВ** – предельно допустимый выброс;

**ПУГР** – промышленный уран-графитовый реактор;

**РАО** – радиоактивные отходы;

**РБ** – радиационная безопасность;

**РВ** – радиоактивные вещества;

**РЗ** – реакторный завод;

**РПСЛ** – радиационно-промышленная лаборатория;

**РРК** – резервуар раздельной канализации;

**САО** – среднеактивные отходы;

**СЗЗ** – санитарно-защитная зона;

**СИЗ** – средства индивидуальной защиты;

**СТО** – стандарт организации;

**СТП** – стандарт предприятия;

**СЦР** – самопроизвольная цепная реакция;

**ТВЭЛ** – тепловыделяющий элемент;

**ТГ** – транспортная галерея;

**ТРО** – твердые радиоактивные отходы;

**ТТЕ** – транспортно-технологические емкости;

**ФНП** – федеральные нормы и правила;

**ФЦП** – федеральная целевая программа;

**ХТРО** – хранилище твердых радиоактивных отходов;

**ЯБ** – ядерная безопасность.

## **Термины, определения**

В формулировках использованы термины и определения, приведенные в нормативных правовых актах и НД, указанных в Перечне П-01-01-2006 Ростехнадзора России.

**Безопасность системы захоронения радиоактивных отходов** – свойство системы захоронения РАО ограничивать радиационное воздействие на население в течение всего периода сохранения потенциальной опасности РАО уровнями, регламентированными нормами радиационной безопасности.

**Буферный материал** – материал (бетон, глины, битум и др.), используемый для ограничения доступа воды (атмосферных осадков и (или) подземных вод) к упаковкам РАО и снижения скорости миграции радионуклидов из РАО в ближнюю зону ХТРО или для минимизации времени контакта упаковок РАО с атмосферными осадками и (или) подземными водами (песок, гравий, изъятая порода, смеси песка с зернистым сорбентом).

**Вывод ПУГР из эксплуатации** – деятельность, осуществляемая после удаления ядерного топлива и ядерных материалов с ПУГР, направленная на достижение заданного конечного состояния ПУГР, исключающая использование реактора в качестве источника ядерной энергии и обеспечивающая безопасность работников (персонала), населения и окружающей среды.

**Донные отложения** – донные наносы и твердые частицы, образовавшиеся и осевшие на дно водного бассейна в результате внутриводоемных физико-химических и биологических процессов, происходящих с веществами как естественного, так и техногенного происхождения.

**Защитный барьер** – элемент природного геологического образования или инженерного сооружения, препятствующих рассеиванию радионуклидов (ГОСТ Р 50996).

**Захоронение отходов радиоактивных** – безопасное размещение радиоактивных отходов без намерения последующего их извлечения.

**Иловые отложения** – иловая мелкодисперсная фаза донных отложений;

**Контейнер для РАО** – емкость, используемая для сбора, и (или) транспортирования, и (или) хранения, и (или) захоронения РАО.

**Контроль радиоактивных отходов** – контроль за наличием и перемещением радиоактивных отходов, включающий контроль доступа к РАО, оборудованию и информации, наблюдение за РАО, проверку санкционированного размещения и перемещения РАО.

**Обращение с РАО** – комплекс технологических и организационных мероприятий, включающий сбор, переработку, кондиционирование, транспортирование, хранение и захоронение радиоактивных отходов, закрытие пунктов захоронения и контроль на всех стадиях.

**Отходы радиоактивные** – не предназначенные для дальнейшего использования вещества в любом агрегатном состоянии, в которых содержание радионуклидов превышает установленные уровни.

**Отходы радиоактивные твердые** – радиоактивные отходы в виде твердых материалов, содержащих радионуклиды.

**Промышленный уран-графитовый реактор (ПУГР)** – тип промышленного реактора, в котором в качестве замедлителя нейтронов используется графит.

**Система захоронения радиоактивных отходов** – совокупность природного геологического образования, сооружений предназначенных для размещения РАО.

**Учет радиоактивных отходов** – определение наличного количества РАО, составление, регистрация и ведение учетных и отчетных документов;

**Упаковка РАО** – упаковочный комплект (контейнер) с помещенными в него РАО, подготовленный для транспортирования, и (или) хранения, и (или) захоронения.

## **Введение**

Промышленные уран-графитовые реакторы РЗ входили в число основных производств Сибирского химического комбината.

В процессе эксплуатации ПУГР выгрузка отработанных тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ) из реакторов и их выдержка под слоем воды для потери активности осуществлялась в промбассейнах завода.

Заполнение и подпитка бассейнов производилась осветленной речной водой, очищенной ориентировочно на 40% от взвесей. Остаточная дисперсная фаза (илистая фракция, содержащая глинистые минералы, мелкие частицы кварца, биоотложения), содержащаяся в осветленной речной воде, осаждалась на дно бассейнов, смешивалась с продуктами коррозии конструкционных материалов (сталь, сплавы алюминия) и техногенной пылью (частицы строительных материалов). В результате длительного взаимодействия этих компонентов произошло формирование техногенных отложений.

К настоящему моменту остановлены все ПУГРы РЗ ОАО «СХК».

С точки зрения решения задач ликвидации радиоактивных отходов реакторного производства проблема донных отложений требует решения в первую очередь, поскольку, по сравнению с твердыми радиоактивными отходами донные отложения являются гетерогенными отходами, в которых отсутствует прочная фиксация радионуклидов в твердой фазе.

В настоящее время на ОАО СХК в рамках ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» проводятся работы совместно с институтом физической химии и электрохимии РАН (ИФХЭ РАН) по разработке способов обращения с илами бассейнов выдержки ОЯТ.

В ходе совместной работы проведены исследовательские работы по следующим темам:

– «Исследование химического, радиохимического и фазового состава илов, образовавшихся в бассейнах выдержки ОЯТ выводимых из эксплуатации ПУГР пл.2 РЗ «СХК»;

– «Исследование физико-химических свойств матричных композиций, содержащих иловые отложения. Обобщение результатов. Выдача рекомендаций по обращению с илами бассейнов выдержки ОЯТ»

– «Подбор различных компонентов, улучшающих противofiltrационные и противомиграционные свойства глиняных барьеров. Определение свойств матричных материалов, содержащих илы бассейнов выдержки и перегрузки твэлов»;

– «Исследование влияния способа проходки скважин на физические и физико-химические свойства монолита. Исследование возможности переработки реальных илов бассейнов выдержки и перегрузки твэлов различными способами».

На РЗ проведены следующие работы по обследованию донных отложений бассейнов выдержки:

- осмотрены рельефы залегания донных отложений;
- определены средние толщины слоев донных отложений;
- выполнены расчёты по оценке объёма и массы донных отложений;
- проведены замеры активности гамма-излучающих радионуклидов;
- проведены замеры активности и массового содержания делящихся изотопов;

– определена общая масса делящихся материалов, содержащаяся в слое донных отложений.

Цель проведения исследовательских работ – выдача рекомендаций по промышленной переработке иловых отложений (по их отверждению) и временному хранению (захоронению) на внутриплощадочных хранилищах ТРО с обеспечением надежной локализации радионуклидов от окружающей среды.

Вид намечаемой деятельности – создание на ОАО «СХК» установки по переработке иловых отложений.

Исходными данными для разработки являются отчет ИФХРАН №39-09 «Влияние способов создания защитных барьеров на поведение продуктов деления и актинидов в глиняном монолите. Обобщение полученных экспериментальных материалов и выдача рекомендаций по технологии обращения с илами бассейнов выдержки и перегрузки ТВЭЛ»

Цель настоящего раздела:

– оценить безопасность персонала, населения и окружающей среды при проведении работ по кондиционированию донных отложений.

Целью безопасности является защита персонала, населения и окружающей среды от недопустимого воздействия неблагоприятных факторов проектируемой установки.

## 1 Общие сведения

1.1 При выполнении работ по выводу из эксплуатации ПУГР рассматриваются вопросы по обращению с РАО, образовавшихся в результате эксплуатации ПУГР.

Деятельность СХК по обращению с РАО осуществляется в соответствии с «Регламентом вывода из эксплуатации реакторов И-1, ЭИ-2, АДЭ-3. П-01Р. ТИ-50-01-99», «Проектом прекращения эксплуатации аппаратов. Рег. № К 165/040, К-460/040, инв. №3853» и требованиями нормативной документации

1.2 Одним из источников РАО при выводе из эксплуатации ПУГР являются ЖРО (иловые отложения бассейнов выдержки).

ЖРО, представленные иловыми отложениями, подлежат кондиционированию(отверждению) с целью повышения безопасности условий хранения.

1.3 Накопленное количество иловых отложений за период эксплуатации ПУГР РЗ достаточно велико, ориентировочно  $700 \text{ м}^3$ .

Места залегания донных отложений – промбассейны (ПБ), транспортно-технологические емкости (ТТЕ), технологические галереи (ТГ), долговременные хранилища (ДХ) и технологические шахты (ТШ) зданий 150, 151; 190, 191; 350, 351; 450, 451 и резервуар раздельной канализации РРК-600 (далее по тексту номера зданий преимущественно указаны 150, 190, 350, 450).

При чистках бассейнов выдержки зд. 190, 350 незначительная часть от общего количества донных отложений (~2,5%) к настоящему времени собрана в ковши объемом 240 л.

1.4 Для отверждения илов бассейнов выдержки создается опытная установка М2501. Отверждение илов до формы, пригодной для безопасного долговременного хранения производится на установке двумя способами:

- Получение МКФ компаунда (магний-калий-фосфатной керамики) путем смешивания илов с оксидом магния ( $\text{MgO}$ ), дигидрофосфатом калия ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) и водой ( $\text{H}_2\text{O}$ ) в стехиометрических соотношениях.

- Получение цементного компаунда путем заливки цементным раствором ковшей с ранее собранными в них иловыми отложениями.

1.5 Характеристика иловых отложений бассейнов выдержки РЗ приведена в таблице 1.1

Таблица 1.1

№ здания, сооружения	Толщина слоя, мм	Вид отложений	Плотность отложений, г/см <sup>3</sup>	Объем отложений, т (м <sup>3</sup> )
150	От 30 до 280	Уплотненный слой ила (верхний слой содержит илистые фракции, нижний слой напоминает по состоянию глину)	От 1,2 до 1,4	□ ~ 80 (62)
190	От 2 до 5	Смесь илистой фракции и песка	1,23	~ 3,7 (3,0)
	Ковши 47 шт (V= 0,24 м <sup>3</sup> )	Смесь илистых фракций, гальки, фрагментов разрушающихся строительных материалов. Содержание илистой фракции 40%		~ 5,5 (4,5)
350	3	Студенистая суспензия серого и коричневого цвета, содержит илистые фракции	1,2	~ 2 (1,7)
	Ковши 26 шт (V= 0,24 м <sup>3</sup> )	Смесь илистых фракций, гальки, фрагментов разрушающихся строительных материалов. Содержание илистой фракции 40%		~ 3 (2,5)
450	От 100 до 400	Смесь иловой фракции и песка	1,25	~ 250 (200)
РРК-600	2600	Студенистая суспензия серого и коричневого цвета. содержит илистые фракции, нефтепродукты	1,22	~ 552 (452)

1.6 Установка по переработке илов – передвижная, мобильная. Установка монтируется в зданиях 150 и 450 на щелевом перекрытии у промбассейнов (в здании 150 на отм.-6.500, в осях 7-8, И...Ф, в здании 450 на отм.-2.400, в осях 28...34, М...П.). Размеры установки в плане 4,5х4,5х4,2 м.

1.7 Режим работы установки – периодический.

1.8 РЗ относится к I категории потенциальной радиационной опасности в соответствии с разделом 3.1. ОСПОРБ-99 и МУ 2.6.1.2005-05 «Установление категории потенциальной опасности радиационного объекта» (решение № 70/193 ДСП от 12.05.2006 г., утвержденное гл. инженером СХК и согласованное с Главным санитарным врачом ЗАТО Северск).

1.9 РЗ относится к объектам использования атомной энергии согласно Федеральному закону от 23.11.95 № 170-ФЗ. «Об использовании атомной энергии». Объект применения – установки для переработки радиационных материалов.

1.10 РАО подлежат учету и контролю согласно НП 067-05 «Основные правила учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов в организации».

1.11 Данный раздел выполнен в соответствии с действующими нормами, правилами и стандартами с использованием следующих нормативных материалов:

- СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)»;
- НРБ-99/2009 «Нормы радиационной безопасности»;
- СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности»;
- СПП ПУАП-03 «Гигиенические требования к проектированию предприятий и установок атомной промышленности»;
- Сп 2.6.6.1168-02 (СПОРО-2002) «Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами»

- НП-070-06 «Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов объектов ядерного топливного цикла».
- НП-016-2005 «Общие положения обеспечения безопасности объектов ядерного топливного цикла (ОПБ ОЯТЦ)»;
- НП -019-2000 «Сбор, переработка, хранение и кондиционирование жидких радиоактивных отходов. Требования безопасности»;
- НП -020-2000 «Сбор, переработка, хранение и кондиционирование твердых радиоактивных отходов. Требования безопасности»;
- НП -021-2000 «Обращение с газообразными радиоактивными отходами. Требования безопасности»;
- НП-53-04 «Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов»;
- НП 067-05 «Основные правила учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов в организации».
- ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»;
- Технический регламент о требованиях пожарной безопасности № 123-ФЗ;
- и другие действующие нормы и правила.

## **2 Характеристика размещения РЗ**

2.1 ОАО «СХК» расположен в южной части Томской области, севернее областного центра.

Территория комбината граничит: с севера - с залесенной и частично заболоченной территорией тайги; с юга - с границей перспективной застройки города Томска; с запада - с правым берегом реки Томь; с востока - с территорией Томского нефтехимического комбината (ТНХК).

Сибирский химический комбинат кроме реакторного завода (РЗ), имеет в своем составе радиохимический завод (РХЗ), химико-металлургический завод (ХМЗ), сублиматный завод (СЗ), завод разделения изотопов (ЗРИ), теплоэлектроцентраль (ТЭЦ), ремонтно-механический завод (РМЗ) и вспомогательные подразделения.

СХК имеет санитарно-защитную зону (СЗЗ) и зону наблюдения (ЗН). Общая площадь санитарно-защитной зоны СХК составляет 112 км<sup>2</sup> с протяжённостью по периметру 50 км.

### **Санитарно-защитная зона РЗ – СЗЗ СХК.**

2.2 Промбассейны РЗ с донными отложениями, расположены на площадках №2 и №11. Данные площадки расположены на юго-востоке промышленной площадки ОАО «СХК». По периметру площадок имеется ограждение.

Территория площадок спланирована, благоустроена, имеет зеленые насаждения. На площадках имеются железнодорожные пути и автомобильные дороги с твердым покрытием.

Данные площадки, в соответствии с картой сейсмического районирования страны, относится к району с сейсмичностью до 6 баллов, т.е. район умеренно сейсмичный. На территории не выделяется зона возможных очагов землетрясений. В истории района за последние 150 лет не отмечалось крупных землетрясений с амплитудой более 6. Зон разломов и тектонически активных зон на современном этапе, на исследуемой площади не выявлено. Современных движений земной коры со скоростями более 10 мм в год не отмечено.

Опасные метеорологические (смерчи, ураганы, лавины и пр.) и гидрологические процессы и явления на участке отсутствуют.

Реальные характеристики воздействия природных факторов в районе производства (ветер, температура воздуха, снегопад, гололед и др.) на безопасность объекта повлиять не смогут.

Площадки находятся вне зоны возможного затопления во время половодья. После прохождения половодья на реке устанавливается летне-осенняя межень, длящаяся до конца октября – первой половины ноября. Ледостав устанавливается в первой – второй декаде ноября.

Радиационную обстановку воздушного бассейна в санитарно-защитной зоне СХК можно характеризовать как удовлетворительную.

Как и в предыдущие годы, концентрации радионуклидов в атмосферном воздухе были существенно ниже нормативов.

По данным СХК, радиационная обстановка в районе расположения комбината характеризуется как стабильная с естественным для этих мест радиационным фоном 6-15 мкР/ч.

Содержание радионуклидов в почве населенных мест, расположенных в зоне наблюдения комбината, близко к значениям глобального уровня радиационного фона в стране.

В настоящее время в сточных водах СХК и далее в р. Томь регистрируются радионуклиды, содержание которых не превышает установленных комбинату предельно-допустимых сбросов, и составляет 5,9-27,4% от ПДС по радиоактивным веществам и 0,5-2,51% от ПДС по вредным химическим веществам.

Мощность дозы гамма-излучения на местности, регистрируемая РПСЛ СХК с учетом существующего техногенного воздействия, в районе расположения комбината составляет 0,06-0,12мкЗв/ч.

### **3 Характеристика зданий и сооружений**

#### **3.1 Характеристика здания 450.**

Существующее здание 450 – девятиэтажное, каркасно-панельное с подземной частью.

Группа капитальности – 1.

Балки покрытия – металлические с ребристыми плитами.

Плиты перекрытия – железобетонные, ребристые.

Колонны – сечением 600х1600 мм, 600х600 мм.

Наружные стены выполнены из кирпича толщиной 640 мм, панельные, железобетонные.

Внутренние стены – кирпичные, бетонные.

Кровля – мягкая, рулонная.

Внутренняя отделка – окраска, побелка, глазуванная плитка.

Полы – мозаичная плитка, нержавеющей сталь, пластикат, бетон.

3.2 Существующее здание 150 – десятиэтажное, кирпичное с подземной частью.

Группа капитальности – 1.

Плиты перекрытия – железобетонные, ребристые.

Колонны – железобетонные сечением 700х700 мм.

Наружные стены выполнены из бетона, кирпича толщиной 510, 640, 710 мм.

Внутренние стены – кирпичные толщиной 250, 380.

Кровля – мягкая, рулонная.

Внутренняя отделка – штукатурка, окраска, побелка, глазуванная плитка.

Полы – мозаичная плитка, нержавеющей сталь, пластикат, бетон.

3.3 Существующее здание 190 – одиннадцатизэтажное, кирпичное с подземной частью.

Группа капитальности – 1.

Плиты перекрытия – железобетонные, ребристые.

Колонны – железобетонные сечением 700х700 мм.

Наружные стены выполнены из бетона, кирпича толщиной 510, 640, 710 мм.

Внутренние стены – кирпичные толщиной 250, 380 мм.

Кровля – мягкая, рулонная.

Внутренняя отделка – штукатурка, окраска, побелка, глазурованная плитка.

Полы – мозаичная плитка, нержавеющей сталь, пластикат, бетон.

3.4 Существующее здание 350 – девятиэтажное, кирпичное с подземной частью.

Группа капитальности – 1.

Плиты перекрытия – железобетонные, ребристые.

Колонны – железобетонные сечением 400x800 мм.

Наружные стены выполнены из кирпича толщиной 640 мм.

Внутренние стены – кирпичные толщиной 250, 380, 510 мм.

Кровля – мягкая, рулонная.

Внутренняя отделка – штукатурка, окраска, побелка, керамическая и глазурованная плитка.

Полы – мозаичная плитка, нержавеющей сталь, пластикат, линолеум, бетон.

3.5 Резервуар раздельной канализации РРК объемом 600 м<sup>3</sup> находится в санитарно-защитной зоне ОАО «СХК» между площадками №2 и 11.

Емкость РРК-600 – железобетонный резервуар, заглублен в землю на 7 м, внешний диаметр 16,68 м, слой насыпного грунта над ним составляет 1,0...1,5 м. Имеется смотровой колодец монолитного железобетонного исполнения с защитной металлической крышкой с запорным устройством.

На прилегающей территории имеется защитное ограждение из колючей проволоки по железобетонным столбам высотой 1,5 м с калиткой с запорным устройством.

3.6 Состояние строительных конструкций основных технологических и вспомогательных зданий РЗ- удовлетворительное.

С целью максимального обеспечения ресурса строительных конструкций и обеспечения радиационной безопасности при выводе из эксплуатации ПУГР в работе зданий сохраняются следующие системы:

- отопление и вентиляция;
- спецканализация, промливневая и хозяйственно-фекальная канализации;
- хозяйственно-питьевое водоснабжение в обслуживаемых помещениях;
- электроснабжение действующих систем;
- пожарная и охранная сигнализации;
- пожаротушение;
- освещение, связь, сигнализация;
- радиационный контроль.

## **4 Характеристика исходного и конечного продуктов**

4.1 Характеристику иловых отложений промбассейнов РЗ (исходного продукта) рассмотрим на примере анализа иловых отложений промбассейнов зданий 150 и 350.

Иловые отложения бассейнов выдержки представляют собой смесь труднофилтруемой суспензии коллоидного типа, твердых частиц малого размера (до 1 мм) и биомассы различного химического состава.

Донные отложения являются природно-техногенными образованиями. Они состоят из взвесей, поступающих с речной водой, а также продуктов коррозии, частиц строительных материалов, частиц почвы, глины и т.п.

### **4.1.1 Химический состав донных отложений и воды**

В процессе эксплуатации уран-графитовых реакторов проводилась выгрузка и перегрузка твэлов в бассейнах. В каждом реакторном здании существует своя система транспортно-технологических емкостей (ТТЕ). Заполнение и подпитка ТТЕ производилось осветленной речной водой, очищенной на ~40% от взвесей. Водно-химический режим ТТЕ не нормирован. Остаточная дисперсная фаза (илистая фракция, содержащая глинистые минералы, мелкие частицы кварца, биоотложения), содержащиеся в осветленной речной воде, осаждались на дно бассейнов, смешивались с продуктами коррозии конструкционных материалов (сталь, сплавы алюминия) и техногенной пылью (частицы строительных материалов). В результате длительного взаимодействия этих компонентов произошло формирование техногенных отложений.

В таблицах 4.1 и 4.2 приведены химические составы проб ила и воды, отобранных в 2007 году из промбассейна, входящего в систему транспортно-технологических емкостей здания 350.

Таблица 4.1

Химический состав воды промбассейна, мг/л				
Компонент	Проба I кв.	Проба II кв.	Проба III кв.	Проба IV кв.
pH	7,1	7,41	7,41	8,10
Cl <sup>-</sup>	4,06	4,06	4,06	4,95
SiO <sub>2</sub>	2,7	2,7	2,4	4,5
Fe <sup>2+</sup>	0,32	0,32	0,25	0,54
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	25,5	25,5	25,5	21,5
Mg <sup>2+</sup>	-	1,12	1,12	0,99
Ca <sup>2+</sup>	-	3,56	3,56	4,74
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,07	0,27	0,07	0,18
Al <sup>3+</sup>	0,32	0,32	0,35	0,62
Cu <sup>2+</sup>	-	-	-	0,052
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,14	0,14	-	0,19

Повышенное содержание кремния в пробе воды за IV квартал связано с захватом глинистых частиц и песка при отборе пробы. Повышенное содержание кальция и магния в этой пробе воды объясняется более высокими значениями жесткости речной воды в зимний период. Сравнение химических составов воды и ила, отобранных в течение 2007 года, свидетельствует о стабильности содержания компонентов в промбассейне и, что очень важно, продуктов коррозии конструкционных материалов.

Таблица 4.2

Химический состав ила из промбассейна, %				
Компонент	Проба I кв.	Проба II кв.	Проба III кв.	Проба IV кв.
Потери при прокаливании	11,8	14,8	15,24	15,23
Cl <sup>-</sup>	0,023	0,026	0,015	0,046
SiO <sub>2</sub>	32,40	32,00	33,51	35,48
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	39,12	30,34	32,34	29,12
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2,52	2,02	1,02	2,01

Продолжение таблицы 4.2

MgO	2,20	1,61	4,64	4,99
CaO	1,50	4,50	6,85	6,50
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,30	0,53	0,53	0,44
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,16	11,52	9,43	8,40
CuO	0,05	0,05	0,025	0,06
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,10	0,12	-	0,42
NiO	-	-	0,09	0,15

#### 4.1.2 Содержание гамма-излучающих радионуклидов в донных отложениях

Результаты измерения удельной активности гамма-излучающих радионуклидов в пробах отложений, отобранных ТТЕ здания 150 приведены в таблице 4.3

Таблица 4.3

Место отбора и маркировка проб (год)	Удельная активность, кБк/г						Суммарная активность, кБк/г
	<sup>60</sup> Co	<sup>137</sup> Cs	<sup>152</sup> Eu	<sup>154</sup> Eu	<sup>155</sup> Eu	<sup>241</sup> Am	
1ПБ1(06)	0,9	145,9	6,5	1,8	0,3	2,3	157,7
1ПБ2(06)	1,2	268,3	7,9	2,5	Не обн.	3,2	283,1
1ПБ3(06)	1,2	186,6	7,8	2,5	0,5	4,5	203,1
1ПБ4(06)	1,3	209,4	9,8	2,1	Не обн.	2,4	225,0
1ПБ5(06)	1,1	211,4	9,5	1,8	0,3	2,2	226,3
1ПБ1(07)	1,0	200,3	9,8	2,8	0,2	3,0	217,1
1ПБ2(07)	0,9	220,0	10,2	1,9	Не обн.	2,6	235,6
1ПБ3(07)	0,8	189,5	8,7	1,6	0,4	3,3	204,3
1ПБ4(07)	1,0	210,6	10,1	1,9	Не обн.	3,2	226,8
1ПБ5-1(07)	1,1	243,4	8,7	1,6	0,3	2,6	257,7
1ПБ5-2(07)	1,2	286,9	11,9	1,4	Не обн.	3,3	304,7
1ПБ5-3(07)	1,1	192,7	9,3	0,9	0,3	2,5	206,8
<b>Среднее по ПБ</b>	1,1	213,8	9,2	1,9	0,3	2,9	229,0

Продолжение таблицы 4.3

1ТГ1(06)	1,0	241,0	9,8	2,8	0,4	2,7	257,7
1ТГ2(06)	1,2	287,7	9,4	1,9	Не обн.	2,9	303,1
1ТГ3(06)	0,9	186,5	7,0	2,0	0,3	2,3	199,0
1ТГ4(06)	5,6	124,7	4,1	0,9	Не обн.	1,3	136,6
1ТГ5(06)	1,2	305,4	9,1	2,0	0,6	3,3	321,6
1ТГ1(07)	0,4	119,4	3,0	0,6	Не обн.	1,0	124,4
1ТГ2(07)	1,3	277,4	11,2	2,8	Не обн.	2,9	295,6
1ТГ3(07)	0,9	250,5	6,9	1,7	Не обн.	2,4	262,4
1ТГ4(07)	1,3	314,9	7,7	2,2	Не обн.	2,8	328,9
1ТГ5-1(07)	1,1	274,5	8,7	1,9	0,4	3,0	289,6
1ТГ5-2(07)	1,0	244,8	9,7	1,1	0,3	3,0	259,9
1ТГ5-3(07)	0,7	160,6	6,2	1,1	0,1	1,8	170,5
<b>Среднее по ТГ</b>	1,4	231,5	7,7	1,8	0,4	2,5	245,8
1ДХ1(06)	1,6	387,6	10,9	2,5	0,7	3,8	407,1
1ДХ2 (06)	1,9	402,1	10,5	2,5	0,6	3,3	420,9
1ДХ3(06)	1,5	383,7	9,1	2,1	0,6	2,9	399,9
1ДХ4(06)	1,6	369,7	11,2	Не обн.	0,4	2,9	385,8
1ДХ5(06)	1,6	344,2	14,9	Не обн.	Не обн.	3,3	364,0
1ДХ1 (07)	1,0	273,8	8,3	2,3	0,4	3,4	289,2
1ДХ2 (07)	1,2	325,2	10,0	2,7	0,8	3,5	343,4
1ДХ3(07)	1,2	367,3	8,1	2,4	0,4	3,3	382,7
1ДХ4(07)	1,4	380,0	13,0	0,5	0,4	3,9	399,2
1ДХ5-1(07)	1,2	362,4	8,6	1,8	0,5	4,7	379,2
1ДХ5-2(07)	0,5	103,8	3,2	0,7	0,2	1,4	109,8
<b>Среднее по ДХ</b>	1,3	327,6	9,6	1,9	0,5	3,2	343,9

Средняя суммарная удельная активность гамма-излучающих радионуклидов в донных отложениях ТГЕ здания 150 составляет около 300 кБк/г.

Основными гамма-излучающими радионуклидами в донных отложениях являются  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{152, 154, 155}\text{Eu}$ . Наибольший вклад в активность, создаваемую эмиттерами гамма-излучения вносит  $^{137}\text{Cs}$ .

Присутствие в донных отложениях трансуранового элемента  $^{241}\text{Am}$  свидетельствует о наличии других трансурановых элементов (ТУЭ), в том числе и изотопов Pu.

Результаты измерения удельной активности гамма-излучающих радионуклидов в пробах отложений, отобранных в ТТЕ здания 350 приведены в таблице 4.4

Таблица 4.4

Место отбора и маркировка проб (год)	Удельная активность, кБк/г						Суммарная активность, кБк/г
	$^{60}\text{Co}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{152}\text{Eu}$	$^{154}\text{Eu}$	$^{155}\text{Eu}$	$^{241}\text{Am}$	
ЗПБ1(06)	13,1	48,2	0,2	<0,1	Не обн.	0,4	62,0
ЗПБ2(06)	8,1	17,4	0,1	Не обн.	Не обн.	0,3	25,9
ЗПБ3(06)	20,2	84,0	0,3	0,3	Не обн.	0,7	105,5
ЗПБ4(06)	14,3	38,7	0,2	0,1	Не обн.	0,4	60,0
ЗПБ1(07)	26,8	96,0	0,5	<0,1	Не обн.	1,2	124,5
ЗПБ2(07)	9,3	65,5	0,1	Не обн.	Не обн.	0,6	75,5
ЗПБ3(07)	12,1	48,0	0,2	<0,1	Не обн.	0,5	60,8
ЗПБ4(07)	27,0	55,6	0,5	0,3	Не обн.	0,7	84,1
ЗСТГ1(06)	26,6	43,4	0,2	Не обн.	Не обн.	0,5	70,7
ЗСТГ2(06)	8,1	55,0	0,4	0,2	Не обн.	0,6	64,3
ЗСТГ3(06)	4,9	14,3	0,1	Не обн.	Не обн.	0,2	19,5
ЗСТГ1(07)	6,3	36,3	0,2	Не обн.	Не обн.	0,4	43,2
ЗСТГ2(07)	12,2	75,0	0,3	Не обн.	Не обн.	0,8	88,3
ЗСТГ3(07)	9,2	40,1	0,2	Не обн.	Не обн.	0,3	49,8
ЗЮТГ1(06)	10,2	61,8	0,3	0,1	Не обн.	0,8	73,2
ЗЮТГ2(06)	12,5	38,4	0,2	Не обн.	Не обн.	0,4	51,5
ЗЮТГ3(06)	32,0	55,5	0,2	0,2	Не обн.	0,6	88,5
ЗЮТГ1(07)	17,0	114,0	0,3	<0,1	Не обн.	1,1	132,4
ЗЮТГ2(07)	8,9	53,9	0,2	Не обн.	Не обн.	0,5	63,5
ЗЮТГ3(07)	7,3	39,1	0,1	Не обн.	Не обн.	0,4	46,9
ЗК1(06)	2,4	41,4	0,1	0,1	Не обн.	1,7	45,7
ЗК2 (06)	5,8	34,0	0,2	0,1	Не обн.	0,8	40,9
ЗК3(06)	4,7	40,4	0,2	0,1	Не обн.	0,8	46,2

Продолжение таблицы 4.4

3К4(06)	2,0	29,8	0,1	0,1	Не обн.	0,6	32,6
3К5(06)	14,3	77,4	0,4	0,1	Не обн.	1,1	93,3
3К1 (07)	5,7	25,2	0,1	<0,1	Не обн.	0,3	31,3
3К2 (07)	13,2	62,4	0,5	0,1	Не обн.	0,9	77,1
3К3(07)	1,7	27,8	0,1	<0,1	Не обн.	0,5	30,1
3К4(07)	3,2	37,1	0,2	0,1	Не обн.	0,6	41,2
3К5(07)	2,6	30,2	0,1	0,1	Не обн.	0,7	33,7

Средняя суммарная удельная активность гамма-излучающих радионуклидов донных отложений ТТЕ здания 350 составляет около 70 кБк/г.

Таким образом, во всех технологических емкостях РЗ основными гамма-излучающими радионуклидами в донных отложениях являются  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{152, 154, 155}\text{Eu}$ . Наибольший вклад в активность, создаваемую эмиттерами гамма-излучения вносит  $^{137}\text{Cs}$ .

4.1.3. Оценка массы делящихся материалов в донных отложениях  
Массовое содержание  $^{235}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$  в пробах донных отложений здания 150, представлено в таблице 4.5.

Таблица 4.5

Место отбора и маркировка проб (год)	Массовое содержание в иле, мг/г	Массовое содержание в иле, мкг/г	Отношение $^{235}\text{U} / ^{238}\text{U}$	Массовое содержание в иле, мкг/г
	$^{238}\text{U}$	$^{235}\text{U}$	%	$^{239}\text{Pu}$
1ПБ1(06)	38,5	200,1	0,52	11,1
1ПБ2(06)	120,2	312,6	0,26	11,2
1ПБ3(06)	13,6	212,6	1,56	7,6
1ПБ4(06)	15,1	125,0	0,83	4,7
1ПБ5(06)	39,3	137,5	0,35	4,9
1ПБ1(07)	8,5	101,5	1,20	5,9
1ПБ2(07)	11,0	52,7	0,48	3,2
1ПБ3(07)	28,8	83,5	0,29	4,3
1ПБ4(07)	3,8	70,3	1,84	4,0
1ПБ5-1(07)	8,6	67,2	0,78	4,8
1ПБ5-2(07)	3,7	78,2	2,13	5,5

Продолжение таблицы 4.5

1ПБ5-3(07)	8,4	54,8	0,65	4,2
<b>Среднее по ПБ</b>	<b>25,0</b>	<b>124,7</b>	<b>0,91</b>	<b>6,0</b>
1ТГ1(06)	10,0	137,5	1,37	5,4
1ТГ2(06)	41,0	262,6	0,64	3,7
1ТГ3(06)	44,1	75,0	0,17	4,0
1ТГ4(06)	17,9	100,0	0,56	2,6
1ТГ5(06)	26,8	75,0	0,28	5,5
1ТГ1(07)	10,1	32,2	0,32	4,1
1ТГ2(07)	4,9	58,9	1,20	5,8
1ТГ3(07)	6,5	63,0	0,97	5,0
1ТГ4(07)	6,3	59,9	0,95	5,3
1ТГ5-1(07)	11,4	72,0	0,63	6,5
1ТГ5-2(07)	13,5	49,8	0,37	5,0
1ТГ5-3(07)	12,7	40,6	0,32	3,7
<b>Среднее по ТГ</b>	<b>17,1</b>	<b>85,5</b>	<b>0,65</b>	<b>4,7</b>
1ДХ1(06)	13,7	100,0	0,73	6,1
1ДХ2 (06)	34,1	112,5	0,33	2,8
1ДХ3(06)	17,6	112,5	0,64	7,1
1ДХ4(06)	9,9	87,5	0,88	6,4
1ДХ5(06)	4,5	75,0	1,65	4,8
1ДХ1 (07)	5,1	50,3	0,99	7,3
1ДХ2 (07)	2,9	33,2	1,13	4,7
1ДХ3(07)	9,1	50,8	0,56	5,0
1ДХ4(07)	5,6	39,6	0,71	5,2
1ДХ5-1(07)	8,0	53,4	0,67	4,7
1ДХ5-2(07)	13,4	64,2	0,48	5,5
<b>Среднее по ДХ</b>	<b>11,3</b>	<b>70,8</b>	<b>0,80</b>	<b>5,4</b>
<b>Среднее по ТТЕ</b>	<b>17,9</b>	<b>94,3</b>	<b>0,78</b>	<b>5,4</b>

Толщина слоя донных отложений в ТТЕ здания 150 по площади дна составляет от 100 до 200 мм. В целях установления распределения содержания делящихся материалов по толщине слоя был проведен послойный отбор проб, что позволило более корректно провести оценку содержания делящихся материалов в донных отложениях ТТЕ.

При послойном отборе установлено, что верхний слой донных отложений имеет меньшее содержание делящихся материалов, так как находится в контакте с водой и имеет меньшую плотность.

В промбассейне максимальное содержание делящихся материалов находится в среднем слое. Среднее содержание делящихся материалов в ПБ составляет по всем точкам отбора  $^{235}\text{U}$  около 124,7 мкг/г,  $^{239}\text{Pu}$  около 6,0 мкг/г.

В транспортной галерее максимальное содержание делящихся материалов приходится на нижний слой. Среднее значение содержания делящихся материалов составляет  $^{235}\text{U}$  около 54,1 мкг/г,  $^{239}\text{Pu}$  около 5,1 мкг/г.

В долговременном хранилище продукции максимальное содержание делящихся материалов сосредоточено в верхнем слое.

Распределение делящихся материалов зависит от технологических процессов, проводимых в ТТЕ. В целях консервативной оценки содержания делящихся материалов для расчета были использованы средние значения по всем точкам отбора.

Общее количество ДМ в донных отложениях ТТЕ здания 150 представлено в таблице 4.6 (данные приведены в пересчете на воздушно-сухую массу осадка).

Таблица 4.6

Наименование ТТЕ		Масса донных отложений в емкостях, т	Количество радионуклидов в емкостях, г	
			$^{235}\text{U}$	$^{239}\text{Pu}$
Зд. 150, 151	ПБ	28,2	3165,5	169,2
	ТГ	7,9	675,5	37,1
	ДХП	7,5	531,0	40,5
Итого		45	4372	246,8

Общая масса ДМ, приходящаяся на здание 150 составляет ориентировочно 4,6 кг. Массовая доля  $^{235}\text{U}$  в общем уране в ТТЕ здания 150 при доверительной вероятности  $P=0,95$  составляет  $0,78 \pm 0,26$  %.

Массовое содержание  $^{235}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$  в пробах донных отложений здания 350 представлено в таблице 4.7.

Таблица 4.7

Место отбора и маркировка проб	Массовое содержание в иле, мг/г	Массовое содержание в иле, мкг/г	Отношение $^{235}\text{U} / ^{238}\text{U}$	Массовое содержание в иле, мкг/г
	$^{238}\text{U}$	$^{235}\text{U}$	%	$^{239}\text{Pu}$
ЗПБ1(06)	1,7	11,3	0,66	1,3
ЗПБ2(06)	3,7	13,8	0,37	0,6
ЗПБ3(06)	5,0	12,5	0,25	1,3
ЗПБ4(06)	0,3	8,8	2,8	1,6
ЗПБ1(07)	10,4	17,6	0,17	2,0
ЗПБ2(07)	3,1	10,2	0,33	0,7
ЗПБ3(07)	9,2	24,8	0,27	2,1
ЗПБ4(07)	1,1	9,6	0,86	1,1
<b>Среднее по ПБ</b>	<b>4,3</b>	<b>13,6</b>	<b>0,71</b>	<b>1,3</b>
ЗСТГ1(06)	1,2	11,3	0,95	1,0
ЗСТГ2(06)	0,7	8,8	1,31	1,0
ЗСТГ3(06)	1,0	7,5	0,78	0,3
ЗСТГ1(07)	1,3	8,5	0,65	0,4
ЗСТГ2(07)	1,2	9,0	0,77	0,4
ЗСТГ3(07)	1,0	6,2	0,63	0,3
<b>Среднее по СТГ</b>	<b>1,0</b>	<b>8,6</b>	<b>0,85</b>	<b>0,6</b>
ЗЮТГ1(06)	8,3	46,3	0,56	0,8
ЗЮТГ2(06)	1,5	10,0	0,68	1,0
ЗЮТГ3(06)	1,3	11,3	0,89	1,0
ЗЮТГ1(07)	2,3	22,8	0,98	2,6
ЗЮТГ2(07)	5,0	17,4	0,35	2,1
ЗЮТГ3(07)	2,5	18,2	0,72	1,6
<b>Среднее по ЮТГ</b>	<b>3,5</b>	<b>21,0</b>	<b>0,70</b>	<b>1,5</b>
<b>Среднее по ТТЕ</b>	<b>2,9</b>	<b>14,3</b>	<b>0,75</b>	<b>1,1</b>
ЗК1(06)	1,8	17,5	0,99	1,0
ЗК2(06)	1,6	20,0	1,23	1,2
ЗК3(06)	1,2	11,3	0,95	0,5
ЗК4(06)	1,4	10,0	0,69	0,4
ЗК5(06)	6,3	46,3	0,73	1,4
ЗК1(07)	0,6	7,6	1,34	0,6
ЗК2(07)	3,2	17,8	0,56	1,3
ЗК3(07)	3,3	26,7	0,82	2,4

Продолжение таблицы 4.7

ЗК4(07)	2,1	15,5	0,75	1,2
ЗК5(07)	2,1	10,5	0,49	1,1
<b>Среднее по ковшам</b>	<b>2,5</b>	<b>18,3</b>	<b>0,86</b>	<b>1,1</b>
<b>Среднее по ТТЕ и ковшам</b>	<b>2,8</b>	<b>15,6</b>	<b>0,78</b>	<b>1,1</b>

Общее количество делящихся изотопов в донных отложениях ТТЕ здания 350 представлено в таблице 4.8 (данные приведены в пересчете на воздушно-сухую массу осадка). Массовая доля  $^{235}\text{U}$  в общем уране в ТТЕ здания 350 при доверительной вероятности  $P=0,95$  составляет  $0,78\pm0,22\%$ .

Таблица 4.8

Наименование ТТЕ		Масса донных отложений в емкостях, т	Количество радионуклидов в емкостях, г	
			$^{235}\text{U}$	$^{239}\text{Pu}$
Зд. 350, 351	ПБ, СТГ, ЮТГ	0,9	13,1	1,0
	Ковши	1,4	25,6	1,5
Итого		2,3	38,7	2,5

В ходе проведения  $\alpha$ -спектрометрических измерений ни для одной из проб донных отложений ТТЕ зданий 150 и 350 не было отмечено перераспределения интенсивности  $\alpha$ -линий между  $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  и  $^{238}\text{U}$  в сторону уменьшения интенсивности линий  $^{238}\text{U}$  и увеличения интенсивности линий  $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ , что могло бы свидетельствовать о присутствии в пробе донных отложений высокообогащенного урана.

4.1.4 В заключениях по ядерной безопасности донных отложений в транспортно-технологических емкостях остановленных ПУГР ФГУП «СХК» № 06-154 и № 09-016, выданных ФГУП ГНЦ РФ – ФЭИ, отмечается, что при нормальном расположении донных отложений на дне емкости система является глубоко подкритичной (значения  $K_{эф}$  значительно меньше 0,95), что обеспечивает ядерную безопасность в этих условиях. При аварийной ситуации или зачи-

стке емкостей теоретически возможна ситуация, когда все донные отложения, находящиеся в емкостях, например, здания 150 будут размещены в одной емкости в форме близкой к кубу или сфере, но и в этом случае значения  $K_{эф}$  будут значительно меньше 0,95. Однако необходимо контролировать возможность концентрирования делящихся материалов при переработке донных отложений.

4.2 Рассмотрим детальную характеристику содержимого резервуара раздельной канализации РРК-600.

В 2007 году проведено обследование резервуара с целью оценки количества отложений, анализа химического состава, а также содержания ДМ и гамма-излучающих радионуклидов в донных отложениях.

В результате обследования установлено, что содержимое резервуара подвержено расслоению на три составляющие:

- слой нефтепродуктов высотой 450 мм ( $V = 78,2 \text{ м}^3$ );
- слой воды высотой 300 мм ( $V = 52,1 \text{ м}^3$ );
- слой донных отложений высотой 2600мм (масса отложений 552 т).

#### 4.2.1 Анализ слоя нефтепродуктов

Нефтепродукты попадают в РРК вместе с водами промстоков в виде эмульсии.

По данным гамма-спектрометрического анализа в слое нефтепродуктов обнаружены  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ .

Удельная активность гамма-излучающих радионуклидов приведена в таблице 4.9

Таблица 4.9

Номер пробы	Удельная активность, кБк/л			Суммарная активность, кБк/л
	$^{60}\text{Co}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{152}\text{Eu}$	
1	7,5	2,3	3,0	12,8
2	10,3	8,0	1,6	19,9
3	8,1	4,5	1,5	14,1
Среднее значение	8.6	4,9	2,0	15,6

Массовое содержание  $^{235}\text{U}$  и  $^{239}\text{Pu}$  в слое нефтепродуктов приведено в таблице 4.10

Таблица 4.10

Активность, Бк/л		Массовое содержание, г/л	
$^{235}\text{U}$	$^{239}\text{Pu}$	$^{235}\text{U}$	$^{239}\text{Pu}$
7,6	148	$9,5 \cdot 10^{-5}$	$5,6 \cdot 10^{-8}$

Общее количество ДМ в слое нефтепродуктов составляет около 7,4 г.

#### 4.2.2 Анализ слоя воды

Состав и концентрация загрязнений в воде резервуара зависят от содержания загрязнений в каждой поступающей части стоков от зданий 150, 190 и 350 и от соотношения расходов сточных вод.

Химический состав воды РРК приведен в таблице 4.11

Таблица 4.11

Дата отбора пробы	РН	Cl	SiO <sub>3</sub>	Fe <sup>-3</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Ca <sup>+2</sup>	PO <sub>4</sub>	Al <sup>-3</sup>	Cu <sup>+2</sup>	NH <sub>4</sub>
		мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг-экв/л	мг-экв/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л
06.07	7,6	4,53	8,71	2,4	7,51	0,87	1,28	0,2	3,45	0,12	0.45
10.03	7,3	5,5	8,0	2,0	7,5	0,5	1,2	0,20	3,20	—	0,5

Из таблицы 4.11 видно, что вода резервуара не имеет явно выраженных агрессивных составляющих, которые могли бы существенным образом повлиять на долговечность резервуара. Однако температурные сезонные колебания и такие воздействия как замораживание и оттаивание снижают срок службы бетонных конструкций.

В результате проведенного гамма-спектрометрического анализа установлено, что пробы воды содержат радионуклиды  $^{60}\text{Co}$  и  $^{137}\text{Cs}$ , однако значение их

активности меньше нижнего предела измеряемой активности для данных радионуклидов для данного аппаратного обеспечения.

#### 4.2.3 Анализ слоя донных отложений

По консервативной оценке согласно расчетным данным объем донных отложений, скопившихся в РРК, составляет ориентировочно 451 м<sup>3</sup>.

Расчет массы донных отложений проводили с учетом плотности в разных слоях донных отложений. Во время отстаивания отложения уплотняются. Плотность верхних слоев близка к плотности воды, нижние отличаются более высокой плотностью. Среднее значение удельной плотности составляет 1,224 г/см<sup>3</sup>.

В результате обследования установлено, что в резервуаре происходит увеличение массы донных отложений. Изменения количества донных отложений в период с 2001 по 2007 года приведены в таблице 4.12

Таблица 4.12

Год	Высота, мм	Объем, м <sup>3</sup>	Масса, т
2001	1800	313	383
2003	2400	417	511
2004	2500	435	532
2007	2600	451	552

При оценке количества радионуклидов в донных отложениях учитывалась масса донных отложений в высушенном состоянии.

Результаты обследования показывают, что основными компонентами донных отложений являются органические веществ, двуокись кремния, продукты коррозии железа и алюминия.

Химический состав донных отложений приведен в таблице 4.13

Таблица 4.13

Химический состав, %											
Высота отбора пробы, м	РН	Cl	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	SO <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZnO	CuO
2,5	6,4	0,07	22,60	13,5	3,2	5,7	3,1	1,78	8,3	0,035	0,02
2,0	6,4	0,10	29,02	14,1	3,2	5,7	3,0	1,78	8,8	0,035	0,02
1,5	6,4	0,08	34,04	17,0	3,8	5,7	2,9	1,68	8,8	0,040	0,02
1,0	6,5	0,07	38,20	20,0	3,8	5,9	2,8	1,58	8,9	0,040	0,02
0,5	6,6	0,07	38,50	23,2	4,0	5,9	2,8	1,58	8,9	0,035	0,02

Удельная активность радионуклидов в донных отложениях приведена в таблице 4.14

Таблица 14.4

Высота отбора пробы, м	Удельная активность, кБк/г					Суммарная активность, кБк/г
	<sup>60</sup> Co	<sup>137</sup> Cs	<sup>152</sup> Eu	<sup>154</sup> Eu	<sup>241</sup> Am	
2,5	13,1	31,7	0,2	0,2	0,4	45,6
2,0	25,5	31,8	0,2	<0,1	0,6	58,1
1,5	13,0	59,0	0,3	<0,1	0,9	73,2
1,0	13,8	48,2	0,3	0,2	0,8	63,3
0,5	10,1	38,6	0,2	<0,1	0,6	49,5
Среднее по РРК	15,1	41,9	0,2	0,2	0,7	57,9

Массовое содержание <sup>235</sup>U и <sup>239</sup>Pu в пробах донных отложений приведено в таблице 4.15

Таблица 4.15

Высота отбора пробы, м	Активность, Бк/г		Массовое содержание, мкг/г		$\frac{^{235}\text{U}}{^{238-235}\text{U}}$ , %
	$^{235}\text{U}$	$^{239}\text{Pu}$	$^{235}\text{U}$	$^{239}\text{Pu}$	
2,5	1,1	3000	14	1,2	0,88
2,0	1,7	3500	22	1,4	0,43
1,5	1,4	3400	18	1,3	0,66
1,0	2,2	4100	26	1,6	0,29
0,5	3,2	4300	40	1,7	0,24
Среднее по РРК	1,9	3700	24	1,4	

Среднее значение ДМ составляет 25,4 мкг/г.

Общее количество ДМ в донных отложениях РРК по консервативной оценке составляет около 7,6 кг.

#### 4.3 Конечный продукт

Конечным продуктом являются отвержденные иловые отложения. Отвержденный ил представляет собой МКФ-компаунд или цементный компаунд в зависимости от способа кондиционирования.

МКФ-компаунд представляет собой аналог природных фосфатных минералов – монацита и апатита, обладающих высокой физико-химической стабильностью в геологической среде. Матрицы МКФ по своим свойствам сходны с керамическими материалами, однако в отличие от керамических материалов МКФ-матрицы получают при обычных условиях (атмосферное давление, комнатная температура).

Плотность МКФ-компаунда 1,6...1,7 г/см<sup>3</sup>.

Плотность цементного компаунда 1,7...2,3 г/см<sup>3</sup>.

Механическая прочность на сжатие МКФ-компаунда составляет 20 МПа.

Механическая прочность на сжатие цементного компаунда при соотношении вода – цемент (В/Ц) менее 0,9 составляет более 5,5 МПа.

Скорость выщелачивания МКФ-компаунда – не более  $10^{-6}$  г/см<sup>2</sup>сут.

Скорость выщелачивания цементного компаунда составляет от  $1,7 \times 10^{-5}$  до  $2,6 \times 10^{-5}$  г/(см<sup>2</sup>×сутки) при регламентированной (требуемой) величине ( $1 \times 10^{-3}$  г/(см<sup>2</sup>×сутки)).

Показатели качества полученных компаундов соответствуют всем требованиям ГОСТ Р 52126-2003, предъявляемым к компаундам с радиоактивными отходами.

## 5 Теоретические основы процесса кондиционирования донных отложений

### 5.1 Кондиционирование илов способом получения калий-магний-фосфатной керамики (МКФ)

5.1. 1 Совершенствование методов обращения с РАО, связано с подбором оптимальных матриц для их отверждения, которые должны обладать химической, радиационной и механической устойчивостью, обеспечивающей предотвращение миграции нуклидов во внешнюю среду и снижение их радиационного воздействия на биосферу. Такой матрицей может служить кристаллический гексагидрат двойного ортофосфата магния и калия (МКФ-соединение), представляющей собой аналог природных фосфатных минералов – монацита и апатита. Эти минералы обладают высокой физико-химической стабильностью в геологической среде, а содержание в них природных U и Th может достигать десятков масс. %. Этот способ отверждения гетерогенных отходов, в частности радиоактивных шламов, был предложен специалистами ГЕОХИ РАН совместно с ФГУП ПО «Маяк».

5.1.2 МКФ-соединение образуется в соответствии с реакцией:



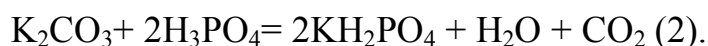
при обычных условиях (атмосферное давление, комнатная температура).

5.1.3 Для этого процесса характерны небольшие энергозатраты, простота реализации и мобильность процесса отверждения, минимизация «вторичных» радиоактивных отходов, а также ряд ощутимых преимуществ данного метода отверждения илов перед другими: возможность отверждения отходов в широком диапазоне их pH, высокая степень наполнения полученных матриц радиоактивными отходами (РАО), устойчивость к воздействию низких температур. Поэтому в последние годы интерес к связующим фосфатным материалам, как альтернативе цементам, заметно возрос.

5.1.4 В результате проведенных исследований в ГЕОХИ РАН и ПО «Маяк» была установлена высокая химическая устойчивость МКФ-матриц к выще-

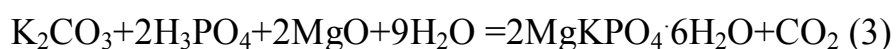
лачиванию радионуклидов и других компонентов при различных температурах. Индексы выщелачивания  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{237}\text{Np}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{85,90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  имеют значения в интервале 12–14, а  $^{99}\text{Tc}$ ,  $^{131}\text{I}$  и  $^{75}\text{Se}$  – 10–11, при этом достигается прочная фиксация также токсичных металлов, таких как хром, никель и др. Полученный материал отличается достаточной механической прочностью (прочность на сжатие у матриц в среднем 20 МПа, требования для цемента >5МПа), а также водостойкостью. Эти исследования обосновали целесообразность отверждения отходов сложного химического и радиохимического состава, в том числе иловых отложений и донных осадков бассейнов выгрузки и перегрузки ТВЭЛов.

5.1.5 Помимо реакции (1) для иммобилизации радиоактивных отходов в МКФ-керамику можно добавлять в качестве исходных материалов более дешевые и доступные технические реагенты: поташ –  $\text{K}_2\text{CO}_3$  и ортофосфорную кислоту –  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . В этом случае вначале получают суспензию однозамещённого гидрофосфата калия по реакции:



Затем в суспензию добавляется вода, в количестве, отвечающем стехиометрии реакций (1) и (2), и оксид магния. Далее процесс отверждения керамики завершается согласно реакции (1).

Общая реакция получения МКФ-керамики, в этом случае, будет выглядеть следующим образом:



5.1.6 Были проведены эксперименты по отверждению иловых отложений методом МКФ-керамики. В качестве исходного сырья использовали модельный ил, отобранный с горизонтального фильтра в фильтровальном зале здания 159 реакторного завода СХК. Отверждали как высушенный при  $200^\circ\text{C}$ , так и влажный ил, который содержал 2,4 вес % воды на килограмм массы ила.

Реагенты для отверждения по реакции  $\text{MgO} + \text{KH}_2\text{PO}_4 + 5\text{H}_2\text{O} = \text{MgKPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  брали в весовых соотношениях  $\text{H}_2\text{O} : \text{KH}_2\text{PO}_4 : \text{MgO} = 2 : 3 : 1$ .

Оптимальное содержание илов в керамическом компаунде варьируется от 30-50 % масс при использовании илов без предварительной подготовки.

Скорость выщелачивания из таких образцов не превышает  $10^{-6}$  г/см<sup>2</sup>сут, что ниже, чем для ранее испытанных цементных компаундов на основе высокопроницаемого цемента.

5.1.7 Таким образом, в присутствии ила не требуется добавления каких-либо специальных реагентов для закрепления в матрице подвижных ионов цезия или стронция. По своим свойствам (в частности, скорости выщелачивания) МКФ-матрица ближе к остеклованным радиоактивным отходам. Установлено, что для всех компонентов матрицы скорости выщелачивания низкие, что указывает на высокую устойчивость матриц к выщелачиванию при повышенных температурах.

Для получения компаунда, отвечающего требованиям ГОСТ Р52126-2003, необходимо соблюдать пропорции смешивания всех компонентов смеси:

$\text{H}_2\text{O} : \text{KH}_2\text{PO}_4 : \text{MgO} = 2 : 3 : 1$ , оптимальное содержание илов в керамическом компаунде должно составлять 30 % масс. в пересчете на сухой остаток.

Процесс отверждения можно проводить непосредственно в 200 литровых металлических емкостях (бочках) при обычных условиях (атмосферное давление, комнатная температура).

## 5.2 Кондиционирование илов способом цементирования

5.2.1 Способ цементирования является достаточно хорошо изученным и проверенным на реальных илах в опытно-промышленном масштабе. При этом водоцементное отношение (В/Ц) растворов пропитки варьируется в диапазоне 0,7...1,2. Регламентированным требованиям по механической прочности соответствуют компаунды, приготовленные при В/Ц=0,7...0,9 и содержащие до 40% масс. иловых отложений по сухому остатку. Регламентированным требованиям по механической прочности после испытания на морозостойкость соответствуют компаунды, приготовленные при В/Ц=0,7...0,9 и содержащие до 40% масс. иловых отложений по сухому остатку.

5.2.2 Пропитка насыпного объема твердых радиоактивных отходов проводится специальными многокомпонентными высокопроникающими цементными растворами. Для приготовления этих растворов используется цементный материал на основе сверхтонкомолотого цемента, который представляет собой сухую смесь 4-6 макро- и микрокомпонентов. Компоненты смеси повышают прочность, морозо- и водостойкость цементных камней, его трещиностойкость и биологическую стойкость, повышают проникающую способность и жизнеспособность цементного раствора, модифицируют сроки схватывания и стабилизируют консистенцию, значительно уменьшают скорость выщелачивания радионуклидов, исключают образование пены при приготовлении цементного раствора и снижают тепловыделение при затвердевании. Равномерно распределенные макро- и микрокомпоненты в цементной смеси делают процесс цементирования более простым, повышая производительность за счет снижения времени на дозирование компонентов и тщательное перемешивание цементного компаунда.

5.2.3 Цементирование пропиткой заключается в подаче через зонд высокопроникающего цементного раствора в придонную часть контейнера с предварительно размещенными в нем твердыми отходами, и прокачивании цементного раствора сквозь насыпной объем отходов. Цементный раствор поднимается снизу вверх контейнера, равномерно заполняя мельчайшие пустоты и поры между частицами отходов. После цементирования конечный продукт отправляется на хранение в исходном контейнере, выступающем в качестве дополнительного защитного барьера. Конечным продуктом цементирования методом пропитки является однородный цементный компаунд, устойчивый к химическим и физическим воздействиям, качество которого удовлетворяет всем регламентированным требованиям ГОСТа.

5.3 На установке кондиционирования отходов отрабатываются различные технологии обращения с иловыми отложениями в опытно-промышленном масштабе с проведением сравнительных экономических оценок разработанных способов, что позволит выбрать оптимальные технологические режимы для переработки аналогичных отложений.

## 6 Описание работ на установке

6.1 На установке применяется два способа отверждения илов – получение МКФ-компаундов и получение цементных компаундов.

Первичными емкостями для иловых отложений являются:

- стальной контейнер  $V = 200$  литров (транспортная емкость ТУК-44), далее по тексту – бочка;

- толстостенный стальной ковш -кюбель  $V = 240$  литров, далее по тексту – ковш.

### 6.2 Получение МКФ-компаунда

Для получения компаунда, отвечающего требованиям ГОСТ Р 52126-2003 необходимо соблюдать пропорции смешивания всех компонентов смеси, а именно:  $H_2O:KN_2PO_4:MgO = 2 : 3 : 1$ .

Оптимальное содержание илов в керамическом компаунде составляет 30 % масс. в пересчете на сухой остаток.

#### 6.2.1 Последовательность работ при получении МКФ-компаундов.

Пустая бочка устанавливается захватом (траверсой) на тележку.

Тележка оборудована креплениями для прочной фиксации бочки, тензодатчиками и защитным свинцовым экраном. Движение тележки осуществляется по рельсам.

Бочка на тележке перемещается к месту загрузки ила. Ил в бочку загружается с помощью пульпового насоса. Контроль массы загруженного ила осуществляется по показаниям тензодатчиков.

Далее измеряется объем ила в бочке с помощью мерной линейки, закрепленной на штанге.

По полученным данным определяется плотности ила и затем рассчитываются количества компонентов смеси для получения МКФ-компаунда. При необходимости избыточная вода из бочки удаляется с помощью вакуумного насоса (или напротив вода добавляется) для соблюдения пропорций смеси.

Здесь же в бочку из приемной емкости загружается дигидрофосфат калия.

Дозировка дигидрофосфата калия осуществляется с помощью гибкого загрузочного шнека, который останавливается по окончании загрузки. Окончание загрузки определяется по показаниям тензодатчиков, установленных на тележке.

Далее бочка перемещается к месту перемешивания, где в бочку опускается мешалка и происходит перемешивание ила с дигидрофосфатом калия.

Затем в бочку при работающей мешалке добавляется оксид магния, и смесь интенсивно перемешивается до однородного состояния. Данная реакция экзотермическая и температура смеси может достигать  $75^{\circ}\text{C} \dots 100^{\circ}\text{C}$ .

Изменение температуры контролируется с помощью инфракрасного датчика температуры. После прекращения подъема температуры, что означает полноту проведения химической реакции и определяет окончание процесса перемешивания, мешалка поднимается и перемещается в емкость с водой для промывки.

Дозирование оксида магния осуществляется по показаниям тензодатчиков, которыми оборудован бункер выгрузки оксида магния.

Все показания тензодатчиков выводятся на щит технологического контроля (ЩТК) установки.

После окончания перемешивания бочка на тележке возвращается в исходное место, откуда с помощью захвата (траверсы) транспортируется к месту временного хранения для естественного охлаждения и до полного затвердевания смеси.

Мешалка отмывается в емкости с водой от налипших частиц компонентов смеси, просушивается и переводится в исходное положение в режим ожидания до следующей операции перемешивания.

Места загрузки сыпучих продуктов оборудованы вытяжными устройствами с кассетными самоочищающимися фильтрами.

Бочки, с МКФ-компаундом загружаются в спецавтомобиль и направляются в здание 190, где предусмотрено место для длительного хранения ТРО.

Количество компонентов смеси для приготовления МКФ-компаунда представлено в таблице 6.1

Таблица 6.1

Компонент	Масса, кг	Насыпной вес, г/см <sup>3</sup>	Объем, л
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	99	2,34	42
H <sub>2</sub> O	66	1	66
MgO	33	3,5	9,4
Ил	85	1,27	67
Σ	283	-	184,4

### 6.3 Цементирование

6.3.1 Цементированию подвергаются ковши с илами, собранными при чистке бассейнов в зданиях 190 и 350.

6.3.2 Последовательность процесса получения цементного компаунда:

- собирается опалубка;
- на дно опалубки заливается цементный раствор, для создания «цементной подушки», после чего опалубка с раствором выдерживается для отверждения раствора.

Цементный раствор подается в опалубку из автобетоносмесителя.

Компоненты цементной смеси:

- 30% масс. тонкодисперсный цемент,
- 1-2% масс. бентонитовая глина,
- 1-2% масс. химические добавки-стабилизаторы,
- 0,1...0,5% масс. пластификатор;
- ковш с илами устанавливается в опалубку на «цементную подушку» и цементным раствором заливается пространство между стенками ковша и опалубкой,
- по окончании процесса затвердевания раствора опалубка разбирается (толщина цементного «кожуха» составляет не менее 110...150 мм);

- цементный компаунд (ковш с илами в цементном «кожухе») перемещается с помощью грузоподъемного механизма либо к месту временного хранения, либо устанавливается на платформу специального автомобиля для транспортировки в здание 190, к месту долговременного хранения ТРО.

Время схватывания бетонно-цементной смеси не позднее 1,5 часов от момента их приготовления.

Время выдержки бетонно-цементной смеси от 24 до 36 часов от момента приготовления.

#### 6.4 Переработка содержимого резервуара отдельной канализации РРК-600

Содержимое резервуара состоит из трех составляющих частей:

- верхний слой – нефтепродукты ( $78,2 \text{ м}^3$ );
- средний слой – вода ( $52,1 \text{ м}^3$ );
- нижний слой – иловые и донные отложения ( $451 \text{ м}^3$ ).

Составляющие части извлекаются из РРК-600 последовательно.

Нефтепродукты собираются в емкости (бочки) и отправляются на хранение для последующего сжигания на установке сжигания цеха №5 ХМЗ.

Вода сбрасывается в спецканализацию.

Иловые отложения загружаются в бочки (ТУК-44) и на спецавтомобиле перевозятся на установку М2501 для переработки по любому из вышеуказанных способов.

## 7 Характеристика основных источников опасности

7.1 Основным источником потенциальной опасности для персонала, населения и окружающей среды при выводе из эксплуатации ПУГР являются накопленные радионуклиды иловых отложений.

7.2 Количество делящихся материалов (ДМ) и активность илов приведена в таблице 7.1

Таблица 7.1

№ здания, сооружения	Средняя суммарная удельная активность, $\gamma$ -изл., Бк/г	Вклад радионуклидов в общую активность, %				Содержание $^{235}\text{U}$ , мкг/г	Содержание $^{239}\text{Pu}$ , мкг/г
		$^{60}\text{Co}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{152}\text{Eu}$	$^{154}\text{Eu}$		
150	$3 \cdot 10^5$	0,5	94,5	4,4	0,6	94,3	5,4
190	$5 \cdot 10^4$					27,8	
350	$7 \cdot 10^4$	18	80	1,5	0,5	15,6	1,1
450	$1,1 \cdot 10^5$					15,9	0,88
РРК-600	$5 \cdot 10^4$	26	73	0,7	0,3	24	1,4

7.3 По результатам исследования изотопного состава радиоактивных загрязнений сделан вывод, что источником поступления радионуклидов в донные отложения являются активационные радионуклиды материала оболочек ТВЭЛ ( $^{60}\text{Co}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{154}\text{Eu}$ ,  $^{155}\text{Eu}$ ) и радионуклиды сердечников облученных ТВЭЛ из природного урана (продукты деления, актиноиды, в том числе делящиеся). Наибольший вклад в активность эмиттеров гамма-излучения вносит  $^{137}\text{Cs}$  – 73 - 95 % от общей активности. В отложениях РЗ основной вклад в альфа-активность дает  $^{239}\text{Pu}$  ( $<10^4$  Бк/г). По изотопному составу и удельной активности донные отложения промбассейнов РЗ относятся к среднеактивным с высоким содержанием  $\alpha$ -излучающих радионуклидов.

В частицах топлива продукты деления и актиниды образовались в процессе выгорания. Однако находящиеся длительное время в окислительных условиях в бассейне выдержки мелкодисперсные топливные частицы подверглись поверхностной коррозии за счет перехода  $U(IV)$  в наиболее стабильную в этих условиях форму –  $U(VI)$ . Такие процессы способствуют поверхностному разрушению частиц топлива. Речные взвеси и продукты коррозии поглощали радионуклиды за счет сорбционных процессов.

Радионуклиды в иловых отложениях присутствуют преимущественно в прочнофиксируемых формах, т.к. мобильные формы радионуклидов в процессе многолетнего контакта ила с водой бассейна были в основном удалены.

7.5 Основными путями поступления радиоактивных веществ в окружающую среду в процессе кондиционирования илов являются:

- поступление радионуклидов в атмосферу с вентилируемым воздухом;
- поступление радионуклидов в грунтовые воды через физические барьеры (через бетонные ограждения неочищенных промбассейнов);
- поступление радионуклидов в технологические помещения при извлечении иловых отложений из промбассейнов, при очистке дна бассейнов, при ведении работ по кондиционированию РАО и при дезактивационных работах.

7.6 При нарушениях нормального хода технологического процесса поступление радионуклидов в окружающую среду возможно в аварийных ситуациях.

В качестве исходных событий проектных аварий принимаются:

- пожар в помещениях;
- падение тяжелых предметов (краны, строительные конструкции);
- ошибочные действия персонала;
- проливы илов при загрузке в ТУКи;
- падение упаковки с РАО при транспортировке.

### 7.6.1 Возможные причины возникновения пожара в помещении промбасейнов.

Пожар – неуправляемый процесс горения, уничтожающий материальные ценности и создающий угрозу жизни и здоровью людей.

Основными причинами пожара являются: неисправности в электрических сетях, нарушение технологического режима и мер пожарной безопасности (курение, применение неисправного оборудования и т.п.).

Основными опасными факторами пожара являются тепловое излучение, высокая температура, отравляющее действие дыма (продуктов сгорания: окиси углерода и др.) и снижение видимости при задымлении.

Критическими значениями параметров для человека, при длительном воздействии указанных значений опасных факторов пожара, являются:

- температура.....  $70^{\circ}\text{C}$  ;
- плотность теплового излучения.....  $1,26 \text{ кВт/м}^2$ ;
- концентрация окиси углерода.....  $0,1\%$  объема;
- видимость в зоне задымления.....  $6-12 \text{ м}$ .

Опасность термического воздействия на несущие строительные конструкции связана со значительным снижением их прочностных характеристик при нагревании. Степень устойчивости сооружения к тепловому излучению зависит от предела огнестойкости несущих элементов его конструкций и характеризуется временем, по истечении которого в условиях пожара происходит потеря несущей способности.

Экспериментальные работы показывают, что критическая температура для стальных балок и ферм находится в пределах от  $470^{\circ}\text{C}$  до  $500^{\circ}\text{C}$  и как следствие при этой температуре происходит потеря несущей способности из-

гибаемых, свободно опертых элементов плит, балок и других строительных элементов.

Динамика пожаров зависит от конструктивных особенностей помещений, а также от характера и распределения пожарной нагрузки (сгораемых материалов).

Степень воздействия температуры на строительные конструкции определяется по оценке динамики развития пожара в помещении, т.е. определяется возможность перерастания локальных очагов загорания в локальные или объемные пожары.

**Локальные очаги загорания** могут возникнуть в помещении по разным причинам:

- отказ систем энергоснабжения;
- внешние воздействия (ураганы, аномальные снегопады, удары молнии, техногенные взрывы и пожары);
- нарушения требований пожарной безопасности;
- проникновение огня в помещение от внешних пожаров по электропроводке, коробам вентиляции, через проемы, щели и двери, по сгораемым элементам конструкций, за счет распространения перегретой жидкости от очага пожара по коммуникациям и др.;

В этом очаге загорания может оказаться достаточное для развития **локального пожара** количество сгораемых материалов.

Локальный пожар сам по себе может вызвать материальный ущерб, термическое или токсическое поражение людей.

При определенных условиях возникновение локального пожара ведет к пожару с еще большим масштабом ущерба (в особенности, если он перерастает в **объемный пожар**, охватывающий все помещение).

7.7 Описание конкретных мер безопасности, включая описание технических средств, используемых для обеспечения радиационной безопасности при проведении работ по кондиционированию донных отложений, приведено в разделе 8 данного документа.

Описание противопожарных мероприятий приведено в разделе 9 данного документа.

## 8 Радиационная безопасность

8.1 Радиационное воздействие на персонал при выполнении технологических операций на установке по переработке илов и при транспортировке отвержденных илов к месту хранения в основном обусловлено наличием  $\gamma$ -излучающих радионуклидов (Cs-137, Co-60, Eu-152, Eu-154).

### 8.2 Принципы и критерии обеспечения радиационной безопасности

Радиационная безопасность обеспечивается:

- созданием условий труда, отвечающих требованиям НРБ-99/2009 и ОСПОРБ-99/2010;
- достаточностью защитных барьеров, экранов и расстояния от источников излучения, а также ограничением времени работы с источниками излучения;
- применением средств индивидуальной защиты;
- наличием нормативных и руководящих документов по РБ в целом по заводу и в его подразделениях, и разработанных на их основе инструкций по РБ, в которых изложен порядок проведения работ в условиях радиационного воздействия на персонал, содержания помещений, организации и проведения радиационного контроля, выявления и ликвидации радиационных аварий, мер индивидуальной защиты;
- установлением контрольных уровней (КУ) дозовых нагрузок, загрязнения поверхностей;
- соблюдением установленных КУ;
- ограничениями допуска к работе с источниками излучения по возрасту, полу, состоянию здоровья, уровню предыдущего облучения и другим показателям;
- знанием и соблюдением правил работы с источниками ионизирующего излучения (ИИИ);

- организацией системы информации о радиационной обстановке;
- проведением эффективных мероприятий по защите персонала при планировании повышенного облучения;
- организацией системы учета и контроля радиоактивных материалов согласно НП-067-05.

8.3 Персонал обеспечивается основным комплектом средств индивидуальной защиты, который включает в себя:

- комбинезон, костюм лавсановый или хлопчатобумажный;
- нательное белье, носки;
- берет лавсановый или хлопчатобумажный;
- сапоги или ботинки;
- перчатки;
- респиратор (выдается в зависимости от загрязнения воздуха и характера выполняемой работы);
- каски.

При производстве отдельных видов работ, при которых не исключена возможность радиоактивного загрязнения основной спецодежды выше допустимых уровней, выдаются дополнительные средства защиты:

- пластиковые полуккомбинезоны, фартуки, нарукавники, бахилы;
- шахтерские или другие костюмы (КЗМ, Л-1 и т.д.);
- резиновые сапоги;
- резиновые перчатки.

8.4 Согласно ОСПОРБ-99/2010, таблица 3.3.1, значение мощности эквивалентной дозы, используемой при проектировании защиты от внешнего ионизирующего излучения, при продолжительности облучения персонала группы А 850 ч/год, составляет 12,0 мкЗв/ч, при продолжительности облучения 1700 ч/год – 6,0 мкЗв/ч, из расчета не превышения эффективной дозы персоналом 20 мЗв/год.

Для обеспечения принципа нормирования и не превышения дозового предела эффективной дозы для персонала группы А – 20 мЗв/год, предусмотрена защита от гамма-излучения.

8.5 Расчет мощности дозы  $\gamma$  – излучения от оборудования с радиоактивными илами.

При расчетах используется консервативный подход – расчет производится по максимальным значениям показателей (от бочки с илом бассейнов здания 150) и по источнику излучения с наибольшей гамма-активностью (по изотопу Cs-137).

***Исходные данные для расчета:***

– удельная активность иловых отложений бассейнов здания 150 составляет  $3 \cdot 10^5$  Бк/г;

– масса ила в бочке - 100 кг;

– расстояние от источника излучения (бочки с илом) до рабочего места нахождения персонала группы А составляет:

1) 0,1 м (вплотную);

2) 1,0 м (за дисциплинирующим ограждением);

– время работы на установке – 6 часов в день;

– предельно допустимая мощность дозы  $\gamma$  – излучения ( $P_0$ ) для персонала группы А рассчитывается из соотношения  $P_0 = \frac{100}{t}$  мР/ч ;

–  $\gamma$  –эквивалент Cs<sup>137</sup> в 1 мКюри = 0,42 мг·экв Ra;

– энергия  $\gamma$  –квантов Cs<sup>137</sup>  $E_{Cs^{137}} = 0,7$  Мэв.

***Методика расчета***

Расчет защиты от  $\gamma$ -излучения проводится по методике, изложенной в «Кратком справочнике по радиационной защите и дозиметрии» под ред. А.А. Моисеева, В.И. Иванова.

– Определяем мощность дозы  $\gamma$  – излучения  $P$ , мР/ч, на расстоянии  $r$ , м, от точечного источника по формуле

$$P = 0,84 \frac{Qm}{r^2}; \quad (1)$$

где  $Q$  – активность изотопа, мКюри;

$$(Q = 3 \cdot 10^5 \times 1000 \times 100 = 3 \cdot 10^{10} \text{ Бк/бочку (810 мКюри/бочку)})$$

$m$  –  $\gamma$  –эквивалент изотопа в 1 мКюри, мг·экв Ra.

Подставляя значения в формулу (1), получаем:

$$P_1 = 0,84 \frac{810 \times 0,42}{0,1^2} = 28577 \text{ мР/ч} \quad P_2 = 0,84 \frac{810 \times 0,42}{1^2} = 286 \text{ мР/ч}$$

– Определяем  $P_0$  - предельно допустимая мощность дозы, мР/ч, при продолжительности работы 36 часов в неделю.

$$P_0 = \frac{100}{36} = 2,8 \text{ мР/ч}$$

– Определяем кратность ослабления  $k$  из соотношения  $k = \frac{D}{D_0}$ ;

$$k_1 = \frac{28577}{2,8} = 10206 \quad k_2 = \frac{286}{2,8} = 102$$

– Определяем толщину защиты от  $\gamma$  –излучения из различных материалов по таблицам 98 – 100 «Краткого справочника ...»

толщина защиты при работе вплотную (0,1 м) составит:

– из свинца – 0,91 см;

– из железа – 22,3 см;

– из бетона – 88,7 см.

толщина защиты при работе на расстоянии 1, 0 м от радиационно-опасного оборудования составит:

– из свинца – 0,47 см;

– из железа – 12,5 см;

– из бетона – 45,3 см.

– Определяем толщину защиты кабины спецавтомобиля, необходимую для обеспечения безопасности водителя при транспортировке РАО.

Мощность дозы от стенки контейнера, в который установлены бочки с МКФ-компаундом, до кабины водителя (при транспортировке в здание 190 к месту длительного хранения ТРО) составит 11440 мкЗв/ч (2860 мкЗв/ч × 4), т.к. вдоль одной стенки контейнера размещается 4 бочки с МКФ-компаундом. Бочки установлены на расстоянии не менее 1,0 м от водителя.

– Определяем кратность ослабления  $k$  из соотношения  $k = \frac{D}{D_0}$  для обеспечения мощности эквивалентной дозы для персонала группы А не более 6,0 мкЗв/ч.;

$$k = \frac{11440}{6,0} = 1906,7$$

– Определяем толщину защиты от  $\gamma$ -излучения из различных материалов по таблицам 98 – 100 «Краткого справочника ...»

толщина защиты составит:

– из свинца – 0,76 см;

– из железа – 23,4 см;

– из бетона – 83 см.

8.6 Сведения о фактической радиационной обстановке в помещениях промбассейнов (по результатам замеров) представлены в таблице 8.1

8.7 Для обеспечения радиационной безопасности предусмотрено:

– ограничение время пребывания персонала у радиационно-опасного оборудования;

– механизация работ с радиационно-опасными упаковками;

– использование грузоподъемных механизмов для работ по перемещению радиационно-опасных упаковок;

– применение защитных экранов, и дистанционирующих барьеров.

Таблица 8.1

№ здания	Помещение	Мощность дозы $\gamma$ –излучения, мкЗВ/ч		Уровень радиоактивного загрязнения поверхностей, част/мин $\times$ см <sup>2</sup>			
		Максимальное значение	Среднее значение	Максимальное значение	Среднее значение	Максимальное значение	Среднее значение
150	Промбассейн	150,0	90,0	3,0	1,5	680,0	370,0
151	Транспортная галерея	650,0	85,0	2,5	2,0	1200,0	420,0
	Долговременное хранилище	125,0	70,0	3,0	1,5	400,0	240,0
190	Промбассейн	170,0	91,0	20,0	9,0	1500,0	731,0
191	Транспортная галерея	172,0	119,0	9,0	5,0	1700,0	440,0
	Долговременное хранилище	80,0	70,0	9,0	3,0	510,0	440,0
350	Промбассейн	916,0	127,0	16,0	5,0	850,0	270,0
351	Галерея выдержки	14,0	4,0	5,0	3,0	1600,0	545,0
450	Промбассейн	260,0	87,0	45,0	25,5	1300,0	600,0
451	Галерея выдержки	55,0	15,5	35	15,5	1400	500,0

## 8.8 Радиационный контроль.

8.8.1 В течение всего времени выполнения работ по выводу из эксплуатации ПУГР РЗ (пока сохраняется радиационная опасность) обеспечивается постоянный дозиметрический контроль персонала, зданий, сооружений, оборудования, территории. Контроль производится на рабочих местах и в пределах санитарно-защитной зоны.

8.8.2 Контроль за радиационной обстановкой осуществляется в следующем объеме:

- контроль за мощностью дозы гамма-излучения, за плотностью потока бета-частиц и других излучений в помещениях или вблизи радиоактивного оборудования;
- контроль за радиоактивным загрязнением поверхностей помещения и оборудования;
- контроль за содержанием радиоактивных газов и аэрозолей при производстве работ в помещениях;
- контроль непосредственно на КПП за уровнем загрязнения радиоактивными веществами предметов, выносимых за территорию объекта;
- контроль за выбросами радиоактивных веществ в атмосферу;
- контроль за содержанием радиоактивных веществ в жидких отходах, сбрасываемых как непосредственно в водоемы или в канализацию, так и в сбросные емкости;
- контроль за сбором, удалением и обезвреживанием твердых и жидких радиоактивных отходов;
- контроль за уровнем загрязнения транспортных средств, используемых при работах по выводу ПУГР из эксплуатации;
- контроль за поступлением радиоактивных веществ в грунтовые воды и почву.

8.8.3 Индивидуальный контроль за облучением персонала включает в себя:

- индивидуальный контроль за дозой бета-, гамма- и смешанного излучения с использованием индивидуальных дозиметров;
- индивидуальный контроль за поступлением и содержанием радиоактивных веществ в организме или в отдельном критическом органе с использованием соответствующих приборов и оборудования.

8.8.4 Объем радиационного контроля может корректироваться в зависимости от конкретной обстановки.

8.8.5 Система радиационного контроля использует технические средства:

- непрерывного контроля на базе стационарных технических средств;
- оперативного контроля на базе передвижных или подвижных технических средств;
- лабораторного анализа на базе стационарной лабораторной аппаратуры, средств отбора и подготовки проб для анализов;
- индивидуального контроля облучаемости персонала.

8.8.6 Для осуществления дозиметрического контроля на РЗ применяются следующие дозиметрические приборы и оборудование:

- Носимые приборы для индивидуального дозиметрического контроля (комплект индивидуальных дозиметров на основе ионизационных камер КИД-2, комплект аварийных индивидуальных дозиметров ГНЕЙС, дозиметров ДТЛ-01, дозиметров-сигнализаторов ДКС-04, электронных дозиметров ДКГАТ-2503).

- Переносимые приборы для дозиметрического и радиационного контроля (дозиметры альфа-, бета-, гамма-, нейтронного облучения: ДРГ-03, СРП-68, СРП-88, ДРГ-05А, ПМР-1М, ДП-5В, РУП-1, РГБ-3-01, ДКС-96, МКСАТ-1117.

- Стационарная аппаратура дозиметрического и радиационного контроля альфа-, бета-, гамма-излучения: СЗБ-04, УЗБ-04, УИМ2-1, УИМ2-2, УИМ2-3).

- Система непрерывного дозиметрического контроля на базе приборов УИМ2-2, УИМ2-3, УСИТ-1, СП-1М, а также с использованием многоканальной установки «Орешник» на базе приборов УИ-05П, БПХ-04П, БДРС-01П, БСР-19П, НТ-220.

8.8.7 Для определения радионуклидного состава выбросов и сбросов с площадок РЗ применяется спектрометрическая аппаратура с полупроводниковым детектором ДКДК-63Б-3 и ПЭВМ.

В системе радиационного контроля предусмотрены показывающие и сигнализирующие приборы, устанавливаемые в помещениях ПУГР, на территории площадок и СЗЗ, в местах, где радиационная обстановка при проведении работ может резко измениться в сторону ухудшения.

8.8.8 Контроль за загрязнением поверхностей помещений и оборудования осуществляется с помощью переносных приборов и взятия мазков.

Контроль загрязнения радиоактивными веществами спецодежды, спецобуви, тела работающих производится с помощью переносных и стационарных приборов, устанавливаемых в санпропускниках.

Контроль за радиоактивным загрязнением грунтовых вод осуществляется с помощью отбора проб в наблюдаемых скважинах и колодцах, охватывающих возможные пути распространения загрязнений.

Контроль за загрязнением почвы осуществляется с помощью проб, взятых в контрольных точках, предусмотренных проектом вывода из эксплуатации ПУГР.

8.8.9 В соответствии с действующим на комбинате порядком за выбросами, для РЗ установлены месячные рабочие нормы выбросов долгоживущих нуклидов и стронция-90.

Контроль выбросов радиоактивных веществ в атмосферу осуществляется путем непрерывного проб с выбросов и последующим приборным анализом на радиометрическом оборудовании.

Контроль загрязненности сточных вод, сбрасываемых в промканализацию и водохранилища № 3, 4 осуществляется путем периодического отбора проб в колодцах и их последующего приборного анализа.

Радиационный контроль при проведении работ по выводу из эксплуатации ПУГР осуществляется службами радиационной безопасности РЗ.

8.8.10 Используемые на заводе средства контроля радиационной обстановки соответствуют требованиям предъявляемым МУ 2.6.1.014-2001.

## 8.9 Системы физических барьеров

8.9.1 Безопасность при переводе иловых отложений из ЖРО в ТРО обеспечивается созданием глубокоэшелонированной защиты – системы последовательных физических барьеров на пути распространения ионизирующего излучения и радиоактивных веществ в окружающую среду.

Отвержденные илы в виде МКФ и цементных компаундов, находящиеся в первичной упаковке (бочки или ковши) являются **первым физическим барьером**, препятствующим распространению радионуклидов в окружающую среду.

Хранилище ТРО (бассейн здания 190) является **вторым физическим барьером**, препятствующим распространению радионуклидов за пределы здания в количестве, не превышающем  $ДОА_{нас.}$  в приземном слое атмосферного воздуха на границе санитарно-защитной зоны и  $0,25ДОА_{перс.}$  на территории промплощадки при нормальной эксплуатации и при аварии. Буферный материал хранилища ТРО препятствует поступлению радионуклидов за пределы хранилища.

Санитарно-защитная зона и зона наблюдения являются **третьим физическим барьером**, обеспечивающим радиационную безопасность населения вблизи промплощадки ОАО «СХК».

8.9.2 Создание системы физических защитных барьеров, предназначенной для удержания радиоактивных материалов и ионизирующего излучения в заданных пределах в течение всего времени выполнения работ по кондициони-

рованию илов, включая период длительного хранения РАО на площадке, является одним из основных принципов обеспечения радиационной безопасности.

Надежное и безопасное хранение (захоронение) кондиционированных РАО на территории площадки в переоборудованных для длительного хранения РАО помещениях РЗ (бассейн здания 190) достигается путем создания многобарьерной защиты, основными элементами которой являются матричный материал, материал контейнеров/бочек, бетонные ограждающие конструкции и т.п.

В соответствии с назначением защитных барьеров выполнены требования, предъявляемые к материалам, из которых они изготовлены:

- высокая удерживающая способность материалов барьеров к радионуклидам;
- устойчивость к радиационному воздействию;
- пожаробезопасность материалов;
- сохранение высоких гидроизоляционных свойств;
- коррозионная устойчивость материалов.

Обоснованием целостности физических барьеров является не превышение установленных норм ДОАперс. в помещениях РЗ, а также отсутствие загрязненности поверхности оборудования и помещений.

#### 8.10 Обеспечение надежности технических барьеров

С целью предотвращения возможности загрязнения грунта и грунтовых вод бассейны выдержки очищаются от илов и опорожняются. Илы переводятся в форму цементных и МКФ-компаундов, обладающих химической, радиационной и механической устойчивостью, обеспечивающей предотвращение миграции нуклидов во внешнюю среду.

#### 8.11 Мониторинг площадки

В течение всего времени (при эксплуатации ПУГР и после их остановки) на площадках №2 и 11 проводятся наблюдения за загрязнением территории площадки. При проведении мониторинга определяются :

- $\gamma$  – фон на территории площадки;

- уровень грунтовых вод;
- концентрация и состав радионуклидов в грунтовых водах;
- концентрация и состав радионуклидов в почве и глубина проникновения радионуклидов в почву;
- уровень загрязнения растительности на территории площадок;
- удельная и суммарная активность сбросных вод по основным радионуклидам (кобальт-60, цезий-137, стронций-90, суммарная бета-активность);
- концентрация радиоактивных аэрозолей и газов в атмосфере по основным компонентам (кобальт-60, цезий-137, стронций-90).

## 9 Противопожарные мероприятия

9.1 Категория помещений промбассейнов РЗ ОАО «СХК» по взрывопожарной и пожарной опасности согласно СП 12.13130.2009» Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» – Д.

9.2 Размещение передвижной установки по кондиционированию иловых отложений в помещениях промбассейнов (в зданиях 150 и 450) не приведет к изменению категорий этих помещений по взрывопожарной и пожарной опасности.

9.3 Оборудование установки изготовлено из углеродистой и нержавеющей стали. Кран мостовой электрический выполнен в пожаробезопасном исполнении (ПБИ). Вытяжное устройство ЕА-4-S имеет степень защиты IP54.

9.4 Для противопожарной защиты в помещении установлены первичные средства пожаротушения – ручные углекислотные огнетушители типа ОУ-5 (ТУ 22-150-117-89) для тушения электрооборудования в количестве 5 штук.

9.5 Инженерно-технические решения в случае пожара обеспечивают:

- эвакуацию персонала в безопасную зону до нанесения вреда их жизни и здоровью вследствие воздействия опасных факторов пожара;
- возможность проведения мероприятий по спасению персонала;
- возможность доступа личного состава пожарной охраны и доставки средств пожаротушения во все помещения здания;

В действующих зданиях 150 и 450 выполнены все требуемые нормативными документами организационно-технические мероприятия по обеспечению пожарной безопасности. К их числу относятся:

- профилактические мероприятия по предупреждению условий образования пожара (противопожарный инструктаж, обучение по пожарно-техническому минимуму, противопожарные инструкции, пожарный надзор,

планы эвакуации, мероприятия по действиям администрации РЗ, рабочих и служащих РЗ на случай возникновения пожара и др.);

- устройства для своевременного обнаружения и оповещения о пожаре;
- первичные средства пожаротушения;
- организация тушения развившихся пожаров подразделениями пожарной охраны СПЧ-4;
- соблюдение правил устройства электроустановок.

Выполнение профилактических мероприятий снижает вероятность возникновения пожара и предупреждает опасные последствия от них.

## 10 Анализ возможных аварийных отклонений от нормального хода технологического процесса

10.1 Анализ аварийных ситуаций приведен в таблице 10.1

Таблица 10.1

Аварийная ситуация	Причина аварии	Последствие аварии	Меры по устранению и предотвращению аварии	Примечание
1	2	3	4	5
<b>Внешние воздействия</b>				
Разрушение аппаратов установки	Землетрясение или другой фактор природного происхождения	–	Авария маловероятна Опасные метеорологические факторы отсутствуют	См. раздел 2
<b>Внутренние события</b>				
Розлив радиоактивного ила в помещении	Опрокидывание бочки при наполнении илом.	Радиационное загрязнение помещения	Системный контроль за состоянием оборудования. Сбор проливов. Дезактивация помещения. Контроль радиационной обстановки.	
Радиационное загрязнение помещения	Пожар в кабельном канале	Радиационное загрязнение помещения	Авария маловероятна. Меры противопожарной защиты	См. раздел 9
Розлив радиоактивного ила при транспортировке	Падение бочки с илом при погрузке в автомобиль	Радиационное загрязнение кузова автомобиля и территории	Сбор проливов. Дезактивация кузова автомобиля и загрязненного участка территории. Контроль радиационной обстановки.	

10.2 В случае угрозы, а также в случае возникновения аварийных ситуаций разработан план мероприятий по защите персонала и населения. Общая организация и координация работы проводится отделом ГО и ЧС.

## 11 Заключение

11.1 На заводе в полной мере выполняются принципы обеспечения радиационной безопасности:

- **принцип нормирования** – индивидуальная доза персонала не превышает допустимых пределов норм;

- **принцип обоснования** – запрещается выполнение работ с использованием ИИИ, при которых полученная для общества польза не превышает риск возможного вреда, причиненного облучением;

- **принцип оптимизации** – средняя индивидуальная доза поддерживается на возможно низком уровне.

Анализ условий труда персонала и состояния радиационной обстановки на заводе в условиях нормальной эксплуатации показывает, что мощность дозы гамма-излучения, загрязненность поверхностей производственных помещений, территории промплощадки и содержание радиоактивных веществ в воздухе рабочей зоны не превышают норм, установленных НРБ-99/2009, ОСПОРБ-99/2010.

В случаях, когда мощность дозы гамма-излучения на производственных участках может превышать установленные НРБ-99/2009 уровни, работы на этих участках проводятся с соблюдением организационно-технических мероприятий, которые разрабатываются для каждого конкретного случая и предусматривают в частности и в обязательном порядке:

- оформление и выдачу наряда-допуска;
- организация рабочего места с применением защитных экранов;
- постоянный дозиметрический контроль радиационной обстановки.

11.2 При выполнении работ по кондиционированию донных отложений бассейнов выдержки РЗ предусмотрен комплекс технических, организацион-

ных и санитарно-гигиенических мероприятий по обеспечению радиационной безопасности персонала, населения и окружающей среды.

11.2.1 Применение комплекса организационных и технических мероприятий по обеспечению радиационной безопасности создает безопасные условия для персонала при работе с радиоактивными веществами.

11.2.2 Хранение ТРО имеет три физических барьера безопасности – СЗЗ, здание, непосредственно МКФ или цементный компаунд.

Контроль целостности физических барьеров осуществляется системой радиационного контроля.

11.2.3 Радиационная безопасность персонала обеспечивается достаточностью защитных барьеров и расстояний от источников излучения, а также ограничением времени работы с источниками излучения. Радиационная защита спроектирована так, что мощность дозы гамма-излучения на персонал установки соответствует требованиям ОСПОРБ-99/2010.

11.3 Безопасность населения вблизи промплощадки ОАО «СХК» обеспечивается согласованием с органами санитарно-эпидемиологического надзора размеров СЗЗ и ЗН, нормативов выброса в атмосферу и сброса в водоемы радиоактивных веществ, норм хранения и захоронения радиоактивных отходов и наличием системы радиационного и химического мониторинга объектов внешней среды.

11.4 Действующие на РЗ мероприятия по предотвращению возникновения пожаров, а также мероприятия по ограничению последствий от их возникновения сводят к минимуму риск возникновения пожаров и негативное воздействие последствий пожара.

11.5 В случае угрозы, а также в случае возникновения аварийных ситуаций разработан план мероприятий по защите персонала РЗ и населения.