

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт неразрушающего контроля  
Направление подготовки: 20.04.01 Техносферная безопасность  
Кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Исследование сорбентов для иммобилизации радиоактивных отходов</b>

УДК 621.039.736.14:54-414

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1EM51	Нгуен Ан Тхай		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Назаренко О.Б.	Д.Т.Н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Баннова К.А.	К.Э.Н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечин А.А.	К.Т.Н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭБЖ	Романенко С.В	Д.Х.Н		

Томск – 2017 г.

## Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
Р1	Применять <i>глубокие</i> математические, естественно-научные, социально-экономические и профессиональные знания при осуществлении изысканий и <i>инновационных</i> проектов создания и оптимизации методов и средств обеспечения безопасности человека и окружающей среды от техногенных и антропогенных воздействий	Требования ФГОС (ПК-1–4, 6; ОПК-1–3, 5; ОК-4), Критерий 5 АИОР (п.1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р2	<i>Создавать</i> и использовать на основе <i>глубоких и принципиальных</i> знаний необходимое оборудование, инструменты и технологии по защите человека в техносфере, а также для повышения надежности и устойчивости технических объектов, поддержания их функционального назначения в условиях <i>жестких</i> экономических, экологических, социальных и других ограничений	Требования ФГОС (ПК-5, 7; ОПК-1–3, 5; ОК-5, 6), критерии АИОР Критерий 5 АИОР (пп. 1.3, 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р3	Проводить <i>инновационные</i> инженерные исследования опасных природных и техногенных процессов и систем защиты от них, включая <i>критический анализ данных из мировых информационных ресурсов, формулировку выводов в условиях неоднозначности</i> с применением <i>глубоких и принципиальных</i> знаний и <i>оригинальных</i> методов в области современных информационных технологий, современной измерительной техники и методов измерения.	Требования ФГОС (ПК-8–13; ОПК-1–3, 5; ОК-9, 10), Критерий 5 АИОР (п.1.2, 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р4	Организовывать и руководить деятельностью подразделений по защите среды обитания и безопасному размещению и применению технических средств в регионах, осуществлять взаимодействие с государственными службами в области экологической, производственной, пожарной безопасности, защиты в чрезвычайных ситуациях, применять на практике теории принятия управленческих решений и методы экспертных оценок.	Требования ФГОС (ПК-14–18; ОПК-1–5; ОК-1, 8), Критерий 5 АИОР (п.1.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р5	Организовывать мониторинг в техносфере, составлять краткосрочные и долгосрочные прогнозы развития ситуации на основе его результатов с использованием <i>глубоких фундаментальных и специальных</i> знаний,	Требования ФГОС (ПК-19, 21, 22; ОПК-1–5; ОК-2), Критерий 5 АИОР (пп.1.2, 1.5), согласованный с требованиями международных

	аналитических методов и <i>сложных</i> моделей в условиях <i>неопределенности</i> , анализировать и оценивать потенциальную опасность объектов экономики для человека и среды обитания и разрабатывать рекомендации по повышению уровня безопасности объекта	стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Проводить экспертизу безопасности и экологичности технических проектов, производств, промышленных предприятий и территориально-производственных комплексов, аудит систем безопасности, осуществлять мероприятия по надзору и контролю на объекте экономики, территории в соответствии с действующей нормативно-правовой базой	Требования ФГОС (ПК-20, 23–25; ОПК-1–3, 5), Критерий 5 АИОР (п.1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Общекультурные компетенции</i>		
P7	Использовать <i>глубокие</i> знания в области проектного <i>менеджмента</i> , в том числе <i>международного менеджмента</i> , находить и принимать управленческие решения с соблюдением профессиональной этики и норм ведения <i>инновационной</i> инженерной деятельности с учетом юридических аспектов в области техносферной безопасности.	Требования ФГОС ВО (ОК-7, ОК-8; ОПК-1–3, 5; ПК-4, ПК-6)  Критерий 5 АИОР (п.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	<i>Активно владеть иностранным языком</i> на уровне, позволяющем работать в интернациональной профессиональной среде, включая разработку документации, презентацию и защиту результатов <i>инновационной</i> инженерной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-4–6, 10–12; ОПК-3), Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Эффективно работать индивидуально, а также в качестве <i>руководителя группы</i> с ответственностью за работу коллектива при решении инновационных инженерных задач в области техносферной безопасности, демонстрировать при этом готовность следовать профессиональной этике и нормам	Требования ФГОС (ОК-1-3, 8; ОПК-1–4), Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3.), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Демонстрировать <i>глубокое знание</i> правовых, социальных, экологических и культурных аспектов <i>инновационной</i> инженерной деятельности, <i>компетентность</i> в вопросах охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.	Требования ФГОС (ОК-4, 5; ОПК-2–3; ПК-18, 19), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	Понимать необходимость и уметь <i>самостоятельно учиться</i> и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-2–4), Критерий 5 АИОР (2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт неразрушающего контроля  
Направление подготовки: 20.04.01 Техносферная безопасность  
Кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_ С.В.Романенко  
(Подпись) (Дата)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

\_\_\_\_\_ магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
1EM51	Нгуен Ан Тхай

Тема работы:

Исследование сорбентов для иммобилизации радиоактивных отходов	
Утверждена приказом директора ИНК	1290/с от 01.03.2017

Срок сдачи студентом выполненной работы:

	08.06.2017
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

Исходные данные к работе	
<i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Литературные данные, методические рекомендации, проектная техническая документация.

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- обзор литературы по видам радиоактивных отходов и способам их иммобилизации;</li> <li>- постановка задач исследования;</li> <li>- проведение экспериментальных исследований;</li> <li>- анализ результатов исследования;</li> <li>- социальная ответственность;</li> <li>- финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение;</li> <li>- заключение.</li> </ul>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Результаты экспериментальных исследований</p>

<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>Финансовый менеджмент</p>	<p>Попова С.Н., доцент кафедры менеджмента</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Сечин А.А., доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности</p>
<p>Иностранный язык</p>	<p>Данейкина Н.В., Старший преподаватель кафедры иностранных языков физико-технического института</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: 3. Результаты экспериментов</b></p>	

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	<p>02.03.2017</p>
--	-------------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Профессор кафедры ЭБЖ</p>	<p>Назаренко О. Б.</p>	<p>д. т. н.</p>		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>1EM51</p>	<p>Нгуен Ан Тхай</p>		

## **Реферат**

Выпускная квалификационная работа 97 с., 5 рис., 39 табл., 25 источников.

Ключевые слова: иммобилизация, цемент, механическая прочность, выщелачивание

Объектом исследования является цемент, бентонит, эпоксидная смола, модельные растворы РАО.

Цель работы – Исследование эффективности процесса иммобилизации радиоактивных отходов различными типами цемента с добавками бентонита и эпоксидной смолы.

В процессе исследования проводились – исследования влияния соотношения между РАО и цементом, а также добавок бентонита и эпоксидной смолы на механическую прочность на сжатие и выщелачивание ионов металлов.

В результате исследования получены данные об эффективности использования метода цементирования для иммобилизации РАО.

Область применения: результаты данной работы могут быть использованы для совершенствования технологии обработки и утилизации радиоактивных отходов.

Экономическая эффективность/значимость работы: повышение эффективности процесса иммобилизации РАО будет способствовать снижению энергозатрат предприятий и уменьшению платы за негативное воздействие на окружающую среду.

В будущем планируется исследование различных добавок в цемент для улучшения прочности цементного блока в процессах утилизации РАО, таких как летучая зола и шлак.

## **Перечень сокращений**

РАО – Радиоактивные отходы

СанПиН – Санитарные нормы и правила;

## Оглавление

Введение .....	11
ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР .....	13
1. Радиоактивные отходы .....	13
1.1. Виды радиоактивных отходов (РАО) .....	13
1.2. Основные стадии обращения с РАО .....	16
1.3. Кондиционирование РАО .....	19
1.3.1. Иммобилизация РАО в цемент .....	19
1.3.2. Иммобилизация РАО в битумы.....	20
1.3.3. Иммобилизация РАО в полимеры.....	21
1.3.4. Остекловывание РАО .....	23
1.4. Свойства цементных и цементных радиоактивных отходов.....	24
1.4.1. Состав и композиции цемента .....	24
1.4.2. Состав цемента после затвердевания.....	27
1.5. Использование цемента при кондиционировании РАО .....	30
2. Методика экспериментов .....	43
2.1. Оценка влияния соотношения между радиоактивным осадком и цементом .....	43
2.2. Цементация с различными типами цемента .....	44
2.3. Оценка влияния добавки бентонита и эпоксидной смолы .....	45
3. Результаты экспериментов .....	47
3.1. Содержание проб сточных вод и осадок .....	47
3.2. Влияние содержания цемента на цементный блок .....	49
3.2.1. Влияние на целостность .....	49
3.2.2. Утечка радиоактивного изотопа и ионов тяжелых металлов из цементного блока ....	50
3.3. Исследование различных типов цемента .....	52
3.3.1. Прочность на сжатие.....	52
3.3.2. Эффективность предотвращения утечки радиоактивных изотопов.....	54
3.4. Влияние добавок на цементный блок.....	58
3.4.1. Влияние на прочность на сжатие.....	58
ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	62
Введение.....	64
Предпроектный анализ.....	64
4.1. Потенциальные потребители результатов исследования.....	64
4.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	65
4.3. FAST-анализ.....	66



4.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	69
Инициация проекта.....	71
4.5 Цели и результат проекта .....	71
4.6 Организационная структура проекта.....	72
Планирование управление научно-техническим проектом.....	72
4.7 План проекта.....	72
4.8 Бюджет научного исследования .....	74
Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ .....	74
Основная заработная плата.....	75
Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала .....	77
Отчисления на социальные нужды.....	77
Накладные расходы .....	78
Оценка эффективности исследования.....	78
5 .Социальная ответственность.....	82
5.1 Профессиональная социальная безопасность.....	82
Таблица 5.1 – Опасные и вредные факторы при изготовлении образцов эпоксидных композитов .....	82
Наименование видов работ .....	82
Нормативные документы .....	82
Работа в лаборатории:.....	82
1) Организация рабочего места;.....	82
2) Обработка полученных данных за компьютером.....	82
2. Повышенная или пониженная влажность воздуха; .....	82
6. Вредные вещества. ....	83
ГОСТ 12.1.007 – 76 «ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности»; .....	82
5.1.1.1. Параметры микроклимата .....	83
5.1.1.2. Освещенность .....	83
5.1.1.3 Производственный шум .....	84
5.1.1.4 Электробезопасность .....	84
5.2 Экологическая безопасность .....	86
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	86
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	93
В этой работе была исследована эффективность процесса иммобилизации жидких радиоактивных отходов низкого уровня активности при цементации различными типами цемента с добавками бентонита и эпоксидной смолы. ....	93

Анализ различных методов кондиционирования жидких РАО показал перспективность такого метода иммобилизации РАО низкого уровня активности как цементирование. ....	93
Список публикаций студента.....	94
Список использованных источников .....	95

## Введение

При обращении и изучении радиоактивных материалов, таких как закрытые источники, вещества, содержащие уран, торий, редкоземельные минералы, содержащие актиниды, получают радиоактивные отходы низкого уровня в жидкой или твердой форме. В этой работе будут изучены несколько методов кондиционирования жидких радиоактивных отходов (РАО) низкого уровня активности, самым дешевым и популярным методом из которых считается цементация.

В принципе, этапы обработки жидких РАО – это уменьшение их объема и иммобилизация. Суть иммобилизации – затвердевание отходов путем смешивания отходов с материалом затвердителя, чтобы защитить окружающую среду от выброса радионуклидов [1]. После этапов предварительной обработки, таких как нейтрализация, испарение, жидкие отходы обычно превращаются в форму осадка с меньшим объемом. Затем осадок будет затвердевать цементом с образованием затвердевшего блока отходов, чтобы предотвратить радиоактивные изотопы или опасные ионы тяжелых металлов от выщелачивания в окружающую среду. Внедрение цемента при обработке РАО уже имеет долгую историю, но этот метод все еще имеет большой потенциал для изучения и улучшения, например, поведения выщелачивания радиоактивных изотопов, ионов, эффектов различных типов цемента или добавок на целостность цементного блока или способность предотвращать утечки.

В этой работе радиоактивный ил будет подлежать иммобилизации в несколько типов цемента, чтобы выяснить, какой из них наиболее подходит для переработки радиоактивного ила из деятельности лабораторий, связанных с урановой рудой. Окончательное решение основано на нескольких аспектах, таких как способность фиксации радиоактивных изотопов, целостность затвердевших продуктов, популярность и экономичность каждого типа цемента. Мы также изучили некоторые добавки, чтобы узнать его

эффективность в отношении процесса цементации и улучшения физических и химических свойств затвердевшего блока. Обработанный блок цементации будет проверяться на способность к выщелачиванию следовать стандарту США ANSI / ANS-16.1-1986 и целостности в форме прочности на сжатие согласно Руководству по безопасности МАГАТЭ № 222 – 1983 [2].

### **Цель работы:**

Исследовать эффективность процесса иммобилизации радиоактивных отходов различными типами цемента с добавками бентонита и эпоксидной смолы.

### **Задачи:**

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- Провести анализ методов кондиционирования РАО;
- Выяснить преимущества метода цементации при затвердевании жидкого РАО низкого уровня;
- Определить эффективность типов цемента и добавок на свойства затвердевших продуктов с точки зрения увеличения механической прочности и уменьшения способности к выщелачиванию.

## ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

### 1. Радиоактивные отходы

#### 1.1. Виды радиоактивных отходов (РАО)

Согласно российскому «Закону об использовании атомной энергии» (от 21 ноября 1995 года № 170-ФЗ) радиоактивные отходы (РАО) – это ядерные материалы и радиоактивные вещества, дальнейшее использование которых не предусматривается.

Для оценки риска для окружающей среды и здоровья человека определенной части радиоактивных отходов и предложения соответствующего метода обработки, необходимо классифицировать РАО в конкретные категории.

В соответствии со статьей 4 Федерального закона "Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации", РАО подразделяются на две основные категории:

1 - Удаляемые радиоактивные отходы - радиоактивные отходы, для которых риски, связанные с радиационным воздействием, не превышают риски и затраты, связанные с захоронением таких радиоактивных отходов в месте их нахождения.

2 - Особые радиоактивные отходы – риски, связанные с радиационным воздействием, превышают риски и затраты, связанные с захоронением таких радиоактивных отходов в месте их нахождения.

РАО принадлежат к первой категории, является видом, который нужно на протяжении обработки.

Удаляемые радиоактивные отходы для целей их захоронения классифицируются по следующим признакам:

- В зависимости от периода полураспада содержащихся в радиоактивных отходах радионуклидов - долгоживущие радиоактивные отходы, короткоживущие радиоактивные отходы;

- В зависимости от удельной активности - высокоактивные радиоактивные отходы, среднеактивные радиоактивные отходы, низкоактивные радиоактивные отходы, очень низкоактивные радиоактивные отходы;

- В зависимости от агрегатного состояния - жидкие радиоактивные отходы, твердые радиоактивные отходы, газообразные радиоактивные отходы;

- В зависимости от содержания ядерных материалов - радиоактивные отходы, содержащие или не содержащие ядерные материалы;

- Отработавшие закрытые источники ионизирующего излучения;

- Радиоактивные отходы, образовавшиеся при добыче и переработке урановых руд;

- Радиоактивные отходы, образовавшиеся при осуществлении не связанных с использованием атомной энергии видов деятельности по добыче и переработке минерального и органического сырья с повышенным содержанием природных радионуклидов [3].

Чтобы удобно обработать, РАО обычно классифицируется в зависимости от удельной активности и агрегатного состояния. Подробная классификация как в следующей таблице:

Таблица 1.1 - Классификация жидких и твердых радиоактивных отходов

Категория отходов	Удельная активность, кБк/кг			
	Тритий	Бета-излучающие радионуклиды (исключая тритий)	Альфа-излучающие нуклиды (исключая трансурановые)	Трансурановые радионуклиды

Твердые отходы				
Очень низкоактивные	до $10^7$	до $10^3$	до $10^2$	до $10^1$
Низкоактивные	от $10^7$ до $10^8$	от $10^3$ до $10^4$	от $10^2$ до $10^3$	от $10^1$ до $10^2$
Среднеактивные	от $10^8$ до $10^{11}$	от $10^4$ до $10^7$	от $10^3$ до $10^6$	от $10^2$ до $10^5$
Высокоактивные	более $10^{11}$	более $10^7$	более $10^6$	более $10^5$
Жидкие отходы				
Низкоактивные	до $10^4$	до $10^3$	до $10^2$	до $10^1$
Среднеактивные	от $10^4$ до $10^8$	от $10^3$ до $10^7$	от $10^2$ до $10^6$	от $10^1$ до $10^5$
Высокоактивные	более $10^8$	более $10^7$	более $10^6$	более $10^5$

Для предварительной сортировки твердых РАО рекомендуется использование критериев по уровню радиоактивного загрязнения и по мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения на расстоянии 0,1 м от поверхности:

- Очень низкоактивные РАО – от 0,001 мЗв/ч до 0,03 мЗв/ч;
- Низкоактивные РАО – от 0,03 мЗв/ч до 0,3 мЗв/ч;
- Среднеактивные РАО – от 0,3 мЗв/ч до 10 мЗв/ч;
- Высокоактивные РАО – более 10 мЗв/ч [4].

В мире, система классификации МАГАТЭ широко используется, и это очень похоже на российскую систему.

В основе классификации отходов МАГАТЭ лежит учет вариантов окончательного захоронения РАО. Основным признаком классификации служит длительность распада нуклида т.к. требования к технологии

захоронения отходов во многом определяются временем, в течение которого отходы представляют опасность. Согласно этой системе классификации, представленной в таблице, отходы подразделяются на следующие категории.

- Отходы, освобожденные от контроля - содержащие такие низкие концентрации радионуклидов, что они могут быть освобождены от ядерного регулирующего контроля, поскольку радиологическая опасность отходов незначительна. Пределы содержания радионуклидов для этой категории отходов называются уровнями освобождения. Они устанавливаются органами государственного регулирования, принимая во внимание критерии для освобождения материалов от регулирующего контроля. Уровни освобождения рассчитываются из условия, что при всех сценариях облучения индивидуальная доза не должна превышать 10 мкЗв в год.

- Низко и среднеактивные отходы - содержащие такие количества радионуклидов, что необходимы меры для защиты персонала и населения. Этот класс охватывает очень широкий диапазон радиоактивных отходов, вплоть до отходов, содержащих такие высокие уровни активности, что требуются биологическая защита и даже охлаждение. В этой категории выделены две группы отходов, содержащих короткоживущие и долгоживущие радионуклиды. Способы захоронения низко- и среднеактивных отходов разнообразны.

- Высокоактивные отходы - Отходы, содержащие такие большие количества радионуклидов, что в течение значительного периода времени необходима их надежная изоляция от биосферы. Такие отходы требуют обязательного наличия биологической защиты при обращении с ними и охлаждения. [4]

## **1.2. Основные стадии обращения с РАО**

а) Сбор и сортировка РАО - осуществляется в местах их образования и/или переработки с учетом радиационных, физических и химических характеристик в соответствии с системой классификации отходов и с учетом



методов последующего обращения с ними. Сортировка первичных жидких и твердых РАО направлена на разделение отходов по различным категориям и группам для переработки по принятым технологиям и для подготовки к последующему хранению и захоронению.

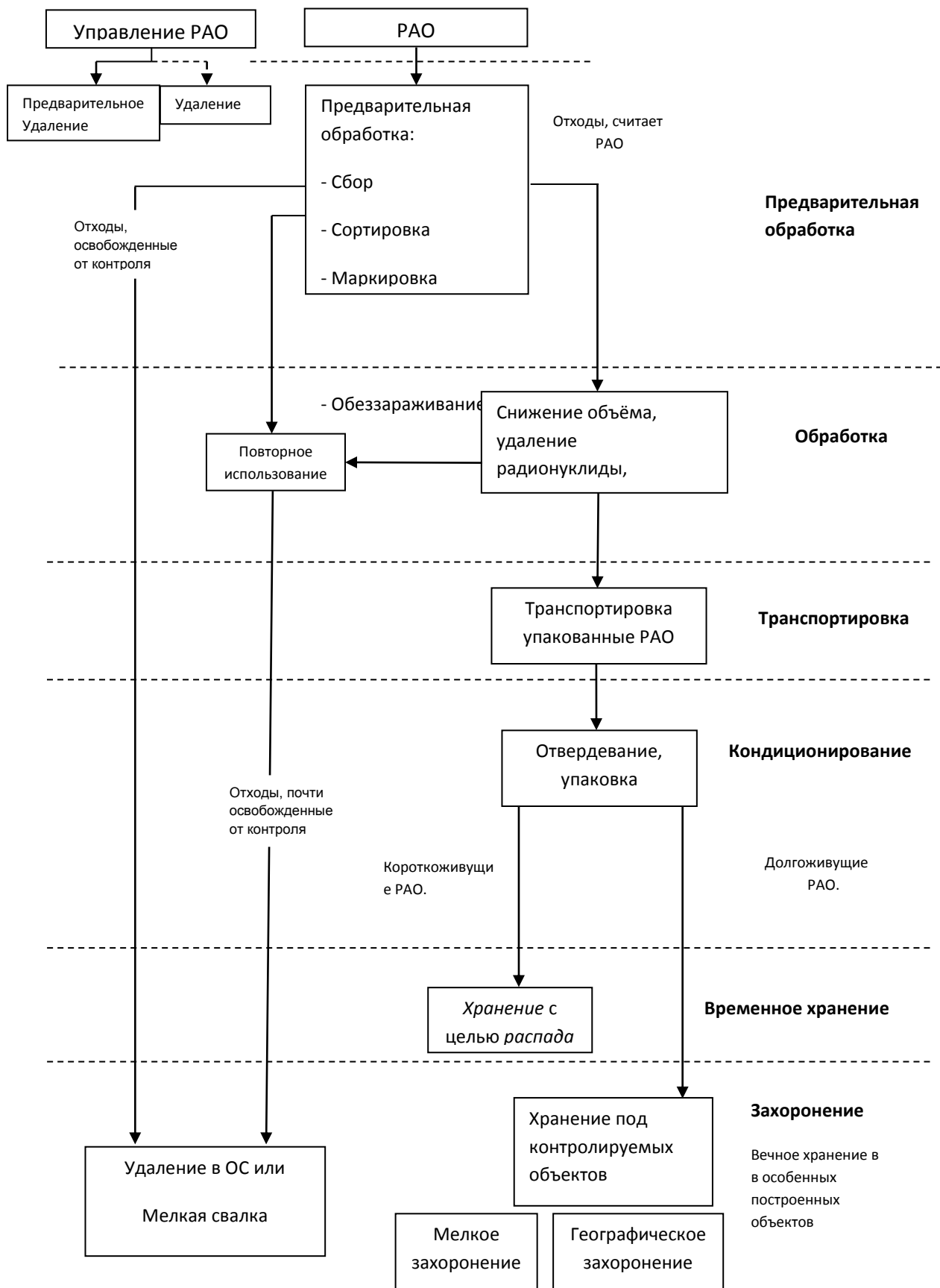
б) Переработка РАО - технологические операции, выполняемые в целях изменения физической формы, агрегатного состояния и (или) физико-химических свойств радиоактивных отходов для их последующего кондиционирования.

в) Кондиционирование РАО – технологические операции по приведению радиоактивных отходов в физическую форму и состояние, пригодные для их захоронения и соответствующие критериям приемлемости.

г) Хранение РАО – осуществляется отдельно для отходов разных категорий и групп в сооружениях, обеспечивающих безопасную изоляцию отходов в течение всего срока хранения и возможность последующего их извлечения.

д) Транспортирование РАО – предусматривает их безопасное перемещение между местами их образования, переработки, хранения и захоронения с использованием специальных грузоподъемных и транспортных средств.

е) Захоронение РАО – безопасное размещение радиоактивных отходов в пункте захоронения радиоактивных отходов без намерения их последующего извлечения [9].



**Рисунок 1: Диаграмма подробных стадий обращения с РАО**

## **1.3 Кондиционирование РАО**

### ***1.3.1. Иммобилизация РАО в цемент***

Цемент является неорганическим материалом, который обладает способностью реакций с водой при комнатной температуре, чтобы сформировать твердую массу. Процесс отверждения цемента связан с реакцией гидратации всех его компонентов при взаимодействии с водой с образованием монолитного продукта. Наличие и участие в нем посторонних компонентов (в частности радиоактивных отходов) может существенно влиять на процессы гидратации и, как следствие, на качество получаемого отвержденного продукта.

Наиболее распространенным типом цемента, используемым при иммобилизации радиоактивных отходов, является портланд-цемент из-за высокой прочности затвердевшего цементного камня. Выбор других типов цемента для цементирования тех или иных отходов зависит от конкретных технологических задач и условий

Цемент обычно используется для формирования большого количества низкорadioактивных отходов, благодаря его доступности и разумной стоимости. Тем не менее, цементация плохо объединена с органическими жидкими отходами[10].

Для улучшения характеристик цементов, в частности для уменьшения пористости, увеличения прочности, уменьшения тепловыделения при гидратации, улучшения текучести цементной пасты, уменьшения водопроницаемости и т. д., применяется смешивание цементов с другими компонентами. В качестве таких компонентов используются глинозем, металлургические и вулканические шлаки, шлаки и зола от сжигания минерального топлива, известковые материалы, различные силикаты.

Применения цемента в строительной индустрии и при иммобилизации радиоактивных отходов существенно различаются. В последнем случае цементные пасты готовятся без использования наполнителей (песка, гравия),

которые дают дополнительное увеличение объема конечного продукта, что экономически невыгодно, т.к. увеличение объема радиоактивных отходов ведет к удорожанию их транспортировки, хранения и захоронения. С другой стороны, отсутствие наполнителей приводит к значительному выделению тепла и ускоренной гидратации, что отрицательно сказывается на качестве цементированного продукта.

Важными технологическими параметрами цементного компаунда являются вязкость, сроки схватывания и степень включения радиоактивных отходов в цементный камень, т. е. соотношение цемента и иммобилизованных отходов. Последнее также определяет объем кондиционированных отходов. Зачастую указанные параметры являются конкурирующими, что необходимо учитывать при подборе составов цементных композиций для обеспечения требуемого качества конечного продукта, т. е. требуется оптимальный подбор компонентов. РАО и их компоненты, в особенности химически активные компоненты, могут непосредственно влиять на процесс цементирования и, соответственно, на качество и основные характеристики отвержденного продукта. Поэтому совместимость определенных цементов с некоторыми компонентами радиоактивных отходов должна оцениваться и контролироваться как на стадии выбора параметров иммобилизации, так и на всех стадиях технологического процесса. Чтобы обеспечить требуемое качество конечного отвержденного продукта для каждого вида отходов требуется соответствующее оформление технологического процесса, а именно, подбор состава цементных композиций и необходимых добавок, определение соотношения цемент/отходы, способа их приготовления и т.д.[11,13,19].

### ***1.3.2. Иммобилизация РАО в битумы***

Битум имеет термопластичный материал, и содержит смесь с высокой молекулярной массой, который получали в виде остатка в процессе нефтяной или каменноугольной рафинирований. Метод битумирования радиоактивных отходов по сложности технологии и стоимости занимает промежуточное

положение между цементированием и остекловыванием. При битумировании ЖРО происходит испарение воды, поэтому в отличие от цементирования иммобилизация отходов практически не сопровождается увеличением объема иммобилизованных форм отходов; кроме того, его преимуществом является хорошая влагостойкость компаундов.

Процесс битумирования включает выпаривание воды из жидких отходов и смешение оставшихся солей с битумом при повышенной температуре. При охлаждении смеси образуется компаунд с однородно распределенными в битуме частицами отходов (химическое взаимодействие отходов с битумом при этом практически не происходит). На качество конечного продукта влияют характеристики отходов, марка используемого матричного материала, технологические характеристики процесса.

В отличие от цемента, битум может быть использован для иммобилизации органических отходов, на пример отработанное масло. В качестве высокомолекулярного углеводорода, битум, как ожидается, хорошо выдерживает от условий окружающей среды [13].

### ***1.3.3. Иммобилизация РАО в полимеры***

Полимеры можно использоваться для иммобилизации радиоактивных отходов, которые не могут быть обработаны упомянутыми способами. Полимеры обладают высокой прочностью на сжатие, значительное свойство химической стойкостью против многих видов коррозионных элементов, появились в отходах. Изучение возможности включения радиоактивных отходов в полимерные материалы преследовало, в частности, цель получения продукта с низким уровнем выщелачивания. С этой целью было проверено около сорока разных полимерных систем, которые можно разделить на две категории

– термостойкие полимеры, образующиеся при полимеризации мономеров; к этой группе относятся, прежде всего, формальдегид, полиэферы, винилэферы, эпоксидные смолы и полиуретаны.

– термопластические полимеры, размягчающиеся при нагреве, например, полиэтилен или поливинилхлорид. В настоящее время применение полимеров в качестве отверждающей матрицы ограничивается иммобилизацией органических отходов, с которыми полимеры хорошо совместимы.

Полимерные матрицы обладают хорошей химической стойкостью, т.к. полимеры устойчивы к слабым кислотам и щелочам. Органические растворители растворяют термопласты при температуре выше 60 °С. Долговременный контакт с водой и температурные циклы не имеют значительного влияния на качество отверженных отходов: скорость выщелачивания компонентов отходов из полимерных материалов обычно ниже, чем для цементных и битумных компаундов. Почти все полимерные материалы устойчивы против биodeградации (к воздействию аэробных и анаэробных бактерий, спор, микроорганизмов).

Иммобилизация РАО в полимерные матрицы обычно приводит к увеличению объема отходов.

В полимерные матрицы возможно включить практически все типы радиоактивных отходов низкого и среднего уровня активности:

- Концентраты водных растворов, концентраты от выпарки жидких отходов;
- Кальцинаты кубовых остатков разного состава;
- Ионообменные смолы;
- Органические жидкости (ТБФ, сцинтилляционные жидкости, масла);
- Шламы;

- Твердые отходы (фильтры, реакторные компоненты, порошковые отходы, оболочки твелов);
- Золой из установок сжигания.

Опыт показывает, что использование полимерных матриц целесообразно для проблемных с точки зрения иммобилизации отходов, например органических жидкостей и ионнообменных смол. Некоторые типы отходов перед отверждением требуют предварительной обработки, методы которой, чаще всего применяемые, суть следующие:

- Обезвоживание ионообменных смол (сушка);
- Сушка (и термохимическая обработка) или кальцинация жидких отходов;
- Химическая обработка (изменение pH, понижение растворимости солей);
- Эмульгирование масла в воде.

#### ***1.3.4. Остекловывание РАО***

Предназначена для иммобилизации отходов в течение длительного времени в компактной твердой нерастворимой форме путем объединения твердых отходов со стеклообразующими материалами, как боросиликатное стекло, и последующим нагреванием смеси при высокой температуре, чтобы формировать вид стекла.

Существует два механизма фиксации радионуклидов из отходов: прямой, когда радионуклиды входят в структуру стекла либо как стеклообразователи, либо как модификаторы и косвенный, когда радионуклиды содержатся во включениях окруженных стекломатрицей.

К числу основных характеристик, определяющих выбор стекол в качестве матрицы при отверждении жидких отходов, относят:

- Достаточно высокую химическую устойчивость к выщелачивающему действию воды;
- Термическую и радиационную стойкость, гарантирующую отсутствие газовыделения и перехода радионуклидов в газовую фазу;
- Механическую прочность;
- Возможность включения в структуру стекла отходов, значительно различающихся по своему химическому составу;
- Возможность обеспечения максимального концентрирования в процессе отверждения, благодаря чему происходит сокращение объема РАО наличие хорошо разработанной технологии получения стекла.

Наибольшее распространение для иммобилизации как высокоактивных, так и низко- и среднеактивных отходов получили боросиликатные стекла, основу которых составляют кремниевое-кислородный трехмерный каркас, а бор играет роль модификатора, понижающего температуру варки и увеличивающего прочность стекла.

Этот метод может применяться для обработки высокорadioактивных отходов. Тем не менее, этот метод очень дорогой и может быть применяется для мелких объектов.

#### **1.4. Свойства цементных и цементных радиоактивных отходов**

##### ***1.4.1. Состав и композиции цемента***

Портландцемент является связующим, затвердевает водой и образуется путем смешивания измельченного клинкера (с основным компонентом - силиката кальция) и гипса (сульфата кальция) в качестве добавки. Клинкер производится путем сжигания глинистых материалов известняком при высокой температуре ( $> 1500^{\circ}\text{C}$ ) для образования гранул диаметром от 5 до 25 мм. На самом деле, известняк и силикатные минералы очень популярны и дешевы. Это



делает портландцемент одним из самых дешевых строительных материалов в мире. После долгой истории были тщательно изучены почти все свойства, такие как состав, процесс затвердевания, химические и физические свойства портландцемента.

Основными компонентами портландцемента являются известняк (60-65 % CaO по массе), силикаты (21-24 % в виде SiO<sub>2</sub>), алюминий (3-8 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) и другие мелкие минералы, такие как оксид железа (3-8 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), магнезия (0-3 % MgO) и триоксида серы (1-4 % SO<sub>3</sub>) и примесей.

Основные вещества, присутствующие в цементе, включают алиты (Ca<sub>3</sub>SiO<sub>5</sub>), белит (Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>), алюминат (Ca<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>O<sub>6</sub>) и феррит (Ca<sub>4</sub>(Al, Fe)<sub>2</sub>O<sub>7</sub>).

Таблица 1.2. Основные химические компоненты цемента

Вещество	Химическая формула	Аббревиатура
Трикальциевый силикат	3CaO.SiO <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> S
Дикальциевый силикат	2CaO.SiO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> S
Трикальциевый алюминат	3CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> A
Тетракальциевый алюмоферрит	4CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>4</sub> AF

Когда цемент затвердевает, первая фаза зависит от соотношения и поведения C<sub>3</sub>A, в равновесии с ионами сульфата, которые смешивались в цементе. C<sub>3</sub>A очень быстро гидратируется и в первую очередь определяет надежность закаленного цемента.

С аномальной скоростью гидратации C<sub>3</sub>A и отсутствием контроля этот процесс сульфатным ионом может привести к таким проблемам, как быстрый

затвердевший, усадочный цементный блок и нарушить целостность смеси цементного - РАО после кондиционирования. На основе этих свойств было создано много типов цемента, которые отличаются целостностью и временем отверждения. В таблице 1.3 и 1.4 перечислены самых популярных типов цемента.

Таблица 1.3. Типы портландцемента и их использование.

Типы цемента	Использование
I	Обычный цемент для типичного использования, не требует специального свойства.
II	Для использования в случаях требуется средняя водостойкость.
III	Использование в случаях требует ранней высокой жесткости.
IV	Использование в случаях требует низкой теплоотдачи в процессе затвердевания (обычно в больших конструкциях, таких как мосты и небоскребы)
V	Использование в случаях требует высокой стойкости к сульфатированию.

Таблица 1.4. Состав (по массе) некоторых типов цемента на рынке.

Типы цемента	$C_3S$	$C_2S$	$C_3A$	$C_4AF$	Другие
I	50	24	11	8	7
II	42	33	5	13	7

III	60	13	9	8	10
IV	26	50	5	12	7
V	40	40	4	7	7

#### 1.4.2. Состав цемента после затвердевания

Каждая фаза процесса упрочнения цемента будет влиять на структуру и свойства отвердителя. Самым важным компонентом в твердом продукте является томероритовый гель, это основной связующий агент в бетоне. Этот гель определяет твердость, стабильность, несущую способность и размер блока бетона. Микроструктуры будут формироваться сразу после начала процесса затвердевания и продолжаться в течение многих месяцев, даже лет. Как правило, портландцемент, затвердевший после 12 месяцев, будет содержать 95-98% гидратированных компонентов, а остальное - некоторые жидкие фазовые вещества. Эти жидкости будут заполняться полыми частями (размером менее 1 мкм) в блоке бетона.

Таблица 1.5. Основные компоненты в блоке бетона

Фаза	Описание	Аббревиатура
кристаллы Эттрингит	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$	AFt
моносulfат	$\text{Ca}_4\text{Al}_2(\text{OH})_{12}\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	AFm
гидрогранатом	$\text{Ca}_4\text{Al}_2(\text{OH})_{12} - \text{Ca}_3\text{Al}_2\text{Si}(\text{OH})_8$	$\text{C}_3\text{AH}_6 - \text{C}_3\text{ASH}_4$
портландит	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	CH
аморфный	Соотношение кальций / кремния в	C-S-H

Гидроциклический силикатный гель	молекуле обычно составляет 1,7± 0,1	
-------------------------------------	--	--

Пористость пористого материала ( $\Phi$ ) в виде цементного раствора рассчитывается по соотношению между не сплошным объемом, таким как отверстия  $V_p$  ( $m^3$ ), заполненные водой или газом, и объем всего материала  $V_t$  ( $m^3$ ):

$$\Phi = \frac{V_p}{V_t} \quad (1)$$

Пористость цементного раствора является зависимой от времени функцией с результатом обычно от 30 до 40%.

Другим важным физическим свойством пористых материалов является его проницаемость  $K$  (м/с). Это свойство представляет способность пропускать жидкое вещество через материал. Он определяется скоростью проницаемости потока жидкости (обычно воды) через него. Скорость проницаемости количества воды  $Q$  ( $m^3/c$ ) через площадь поверхности материала  $S$  ( $m^2$ ), изготовленной из пористого материала, рассчитывается по формуле Дарси:

$$Q = KS \frac{H+h}{H} \quad (2)$$

$H$  - толщина слоя материала (м),  $h$  - толщина слоя воды над слоем материала (м). Поскольку проницаемость блока бетона зависит от пористости, то это также функция времени. Фактическая проницаемость затвердевшего портландцемента, связанного со временем, приведена в таблице 1.6.

Таблица 1.6. Промежуточная скорость воды через закаленные цементные блоки по времени

Время отверждения	0	5	6	8	13	24	постоянный
----------------------	---	---	---	---	----	----	------------

(дней)							
K (м/с) ( $\times 10^{-14}$ )	$2 \times 10^7$	$4 \times 10^3$	$1 \times 10^3$	$4 \times 10^2$	50	10	6

Химическая и физическая стабильность закаленного цементного продукта в значительной степени зависит от соотношения между водой и цементом по весу. В фазе смешивания бетона люди обычно используют большее количество воды для снижения вязкости цементного раствора, делают возможным перекачивание и текучесть. Высокое соотношение вода / цемент вызывает более пористое пространство и отрицательное влияние на механическую и химическую жесткость цемента. В приложении для кондиционирования РАО проницаемость также должна минимизироваться. Высокий K, скорее всего, позволит освободить радиоактивные изотопы NRi и снизить стабильность блока бетона, который при контакте с водой.

#### ***1.4.3. Некоторые из популярных типов цемента на рынке.***

В Юго-Восточной Азии существует множество различных типов и марки цемента для различных целей. Среди них есть четыре наиболее популярных типа:

- Портландцементная смесь РСВ-30: Это самый популярный тип цемента, также самый дешевый на рынке сегодня. Этот тип цемента широко используется для строительства без каких-либо особых требований. Согласно вьетнамскому стандарту TCVN 6260-2009, механическая прочность на сжатие цемента РСВ-30 должна составлять не менее 14 МПа после 3-дневного отверждения и 30 МПа после 28 дней. Время начала процесса затвердевания составляет не менее 45 минут, а время окончания составляет не менее 420 минут.

- Портландцементная смесь РСW-40: это тип цемента для производства высококачественного бетона. Согласно вьетнамскому стандарту TCVN 6260-2009, цемент РСW-40 имеет такое же требование относительно времени отверждения, как и цемент РСW-30, но механическая прочность на сжатие цемента РСВ-40 должна составлять не менее 18 МПа после 3 дней и 40 МПа после 28 дней .

Белый портландцемент РСW-30-2. Этот тип производится путем измельчения и смешивания белой клинке с высоким содержанием зелья гипса. Количество MgO в белом цементе не должно превышать 5%. Согласно вьетнамскому стандарту TCVN 5691: 2000, механическая прочность на сжатие цемента РСW-30-2 должна составлять не менее 16 МПа после 3 дней и 30 МПа после 28 дней отверждения.

Сульфатостойкий портландцемент PCSr-30: это особый тип цемента с высокой устойчивостью к жесткому состоянию окружающей среды. Обычно он используется для строительства пирса, морской плотины. В соответствии с вьетнамским стандартом TCVN 6067: 2004, помимо требования к механической прочности на сжатие (12 МПа после 3 дней и 30 МПа после 28-дневной отверждения), требование о времени отверждения (начинается менее 45 минут и заканчивается менее 375 минут), устойчивость к сульфату Портландцемент должен удовлетворять строгому требованию о химическом составе: потеря массы при нагревании менее 3%, содержание MgO менее 5%, содержание SO<sub>3</sub> менее 2,5%.

## **1.5. Использование цемента при кондиционировании РАО**

### ***1.5.1. Влияние радиоактивных отходов на цементную матрицу.***

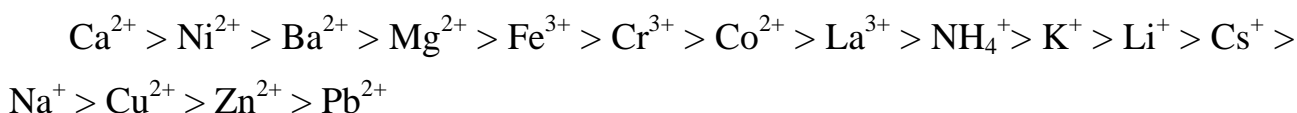
Люди начинали использовать цемент для затвердевания РАО с начала атомной промышленности. До сих пор это по-прежнему является самым популярным и важным, благодаря более низкой стоимости, совместимости с жидкими радиоактивными отходами (однако в последнее время большое

количество отрицательных эффектов жидкого РАО изучается на цементной матрице)

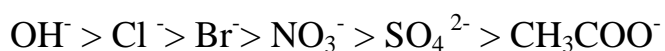
Таблица 1.7. Влияние химических составов в РАО на цементную матрицу.

Химические составы	Воздействие
Ион Pb, Zn, растворимая соль бората	Формирование частиц цемента, покрытых солью или коагулирующим аморфным гелем, предотвращающим процесс затвердевания цемента.
Органические вещества, такие как ЭДТА, сахар, лимонная кислота ...	Влияют на ионы кальция, замедляют процесс затвердевания.
коагулянты	Вызывают неожиданные эффекты, замедляют процесс затвердевания.
Положительные ионы металлов	Снижение pH раствора путем взаимодействия с ионом OH <sup>-</sup> , образующего оксиды, гидроксиды и расширение, вызывает трещину на закаленной продукции, снижает механическую прочность.
Органический ионообменник	Развернуть объем путем сорбции воды в растворе, расширения и уменьшения механической прочности закаленных продуктов.

Влияние катионов на процесс затвердевания цемента от высокого до низкого, как следует:



Влияние анионов на процесс затвердевания цемента от высокого до низкого, как следует:



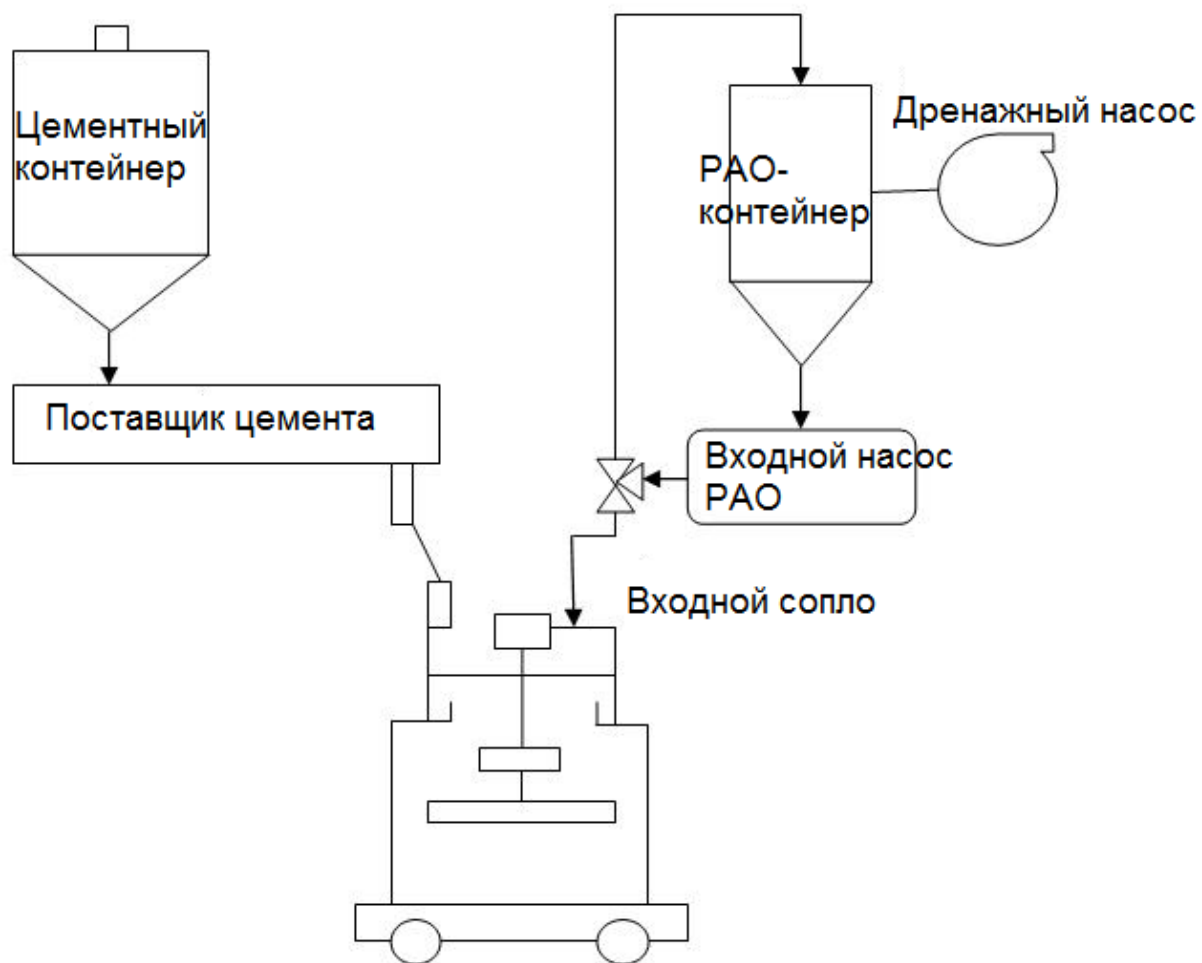
Чтобы предотвратить эти негативные эффекты, для улучшения качества бетона обычно добавляется одна или несколько добавок к цементу. Широко используется много типов улучшенного портландцемента [21,22].

### ***1.5.2. Популярная техника цементации РАО***

Смесь цемента и РАО может быть приготовлена непосредственно в постоянном баке (in-drum mixing) или в большом миксере перед тем, как положить его в постоянный барабан (in-line mixing) [].

С процессом смешивания в барабане цементная смесь в барабане будет оставаться в течение нескольких часов для отдыха, после чего верх барабана будет уплотняться другим слоем высококачественного цемента для заполнения всей пористой области и предотвращения поверхностного радиоактивного загрязнения. Наконец, крышка барабана будет закрыта.

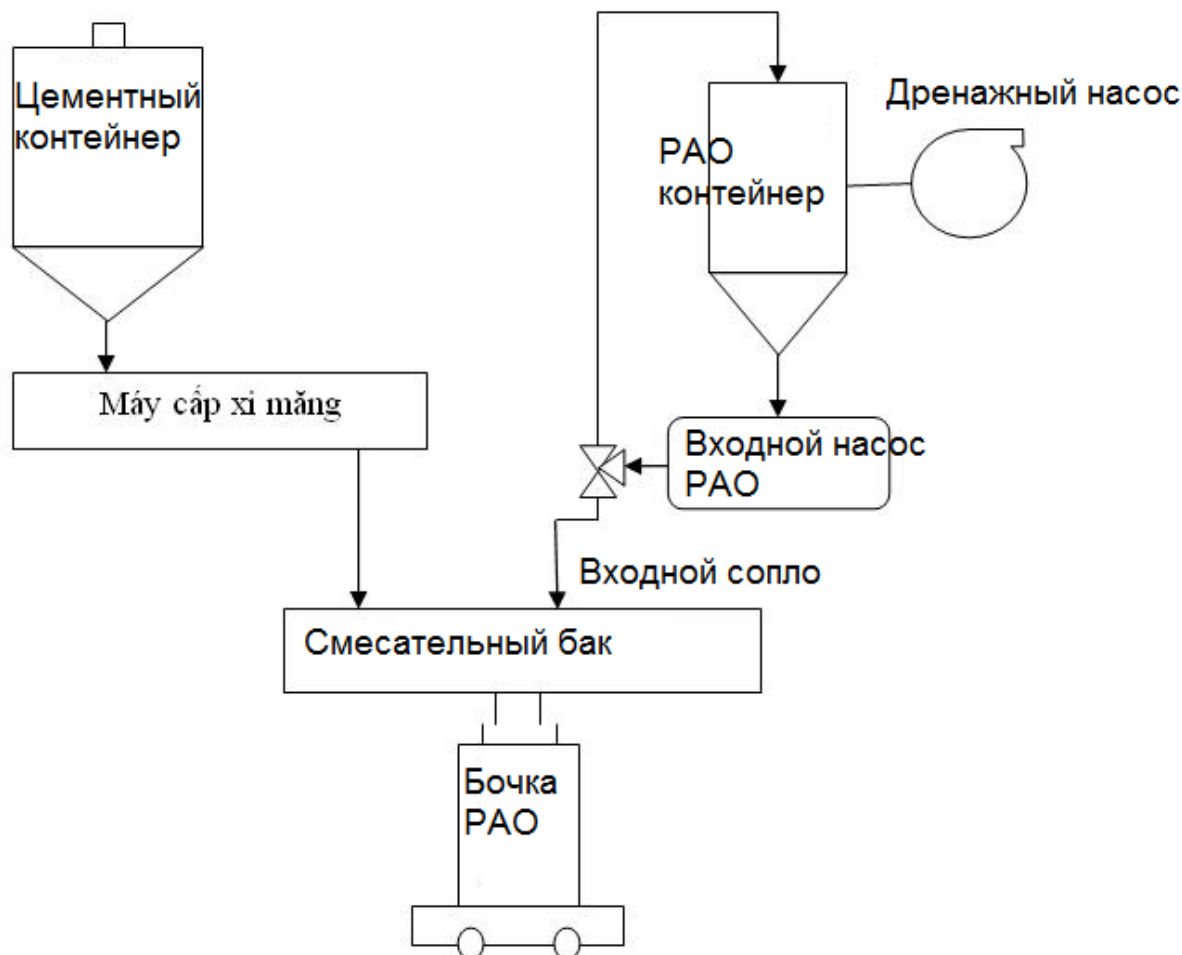




**Рисунок 2. Схема процесса цементации с использованием техники “In-drum mixing”**

По этой методике мешалку смесителя можно повторно использовать или использовать только один раз и оставить в барабане. Недостаток при повторном использовании мешалки: после каждого использования его необходимо обеззараживать. Когда мешалка используется только один раз, чтобы сэкономить, она должна быть изготовлена из дешевого материала. Другой подход заключается в использовании шейкера для удаления необходимости в мешалках, которые считаются вторичными РАО. С помощью этой технологии барабан для отходов будет прикреплен к раме шейкера и встряхните, пока смесь не будет тщательно перемешана. Перед тем, как вставить в шейкер, крышка барабана обычно сваривается. Каждый шаг обработки, такой как открытые или закрытые крышки, заливка цемента, смешивание выполняется

автоматически или с помощью устройства дистанционного управления для обеспечения максимальной безопасности. Однако использование шейкера не может производить смесь так же хорошо, как при использовании мешалки.



**Рисунок 3. Схема процесса цементации с использованием техники “In-line mixing”**

Посредством метода in-line mixing РАО, добавки, цемент и вода (необязательно) смешиваются вместе в специальном баке перед тем, как положить в постоянную бочку. В этом процессе цемент и РАО будут закачиваться в смесительный бак с постоянным соотношением. После процесса смешивания цемент смеси и РАО будут вливаться в постоянную бочку. Барабан будет закрыт, деактивирован, проверен на радиоактивность и доставлен в репозиторий. Уровень смеси в смесительном баке будет контролироваться

ультразвуковыми датчиками. После каждой партии бак очищается и обеззараживается. Чтобы уменьшить вторичный РАО, вода, используемая для очистки бака, будет собираться и использоваться для смешивания цемента в следующей партии.

В реальной жизни оборудование для цементации РАО очень сложно спроектировано и эксплуатируется, поскольку оно также включает множество вспомогательных технических процедур для обеспечения качества продукции и соблюдения стандартов безопасности. Многие добавки будут использоваться для повышения эффективности и эффективности работы. Например, вермикулит, бентонит или сланцы используются для сбора большего количества радиоактивных изотопов, позволяют цементировать более высокий уровень РАО. Например, добавление 3% бентонита по весу приведет к значительной утечке из продукта бетона [5].

### ***1.5.3. Оценка качества цементированного блока РАО.***

Один из самых важных свойств кондиционированного цементного блока является способность предотвращать утечку радиоактивных изотопов в окружающую среду, особенно когда она погружена под воду. Это два механизма предотвращения вымывания опасных изотопов из твердых условных блоков. Первый механизм: создать физический барьер для предотвращения контакта радиоактивных изотопов с окружающей средой. Это основной механизм методов цементации и битумизации. Во втором механизме радиоактивный изотоп химически фиксируется в матрице отвердителя (на пример: стекло или керамики).

Свойства условного блока зависят от химических свойств потока отходов, процессов кристаллизации блока и свойства сохраняющейся среды. Большая часть трансуранового элемента сильно связана с матрицей-отвердителем в среде с высоким рН и имеет много реакций с цементной матрицей [13,16].

Таблица 1.7. Стандарт качества цементных блоков радиоактивных отходов в России

Показатель	ПДК
Излучение $\beta$ и $\gamma$	$< 1 \times 10^{-3}$ ки/ кг
Излучение $\alpha$	$< 1 \times 10^{-6}$ ки/ кг
Скорость выщелачивания изотопах $^{137}\text{Cs}$ и $^{90}\text{Sr}$	$< 10^{-3}$ г/см <sup>2</sup> * день.
Механическая прочность (против прессование и растяжку)	В зависимости от потребности в обращении, хранении и утилизации в каждом случае, но не менее 5 МПа.
Прочность против радиоактивности	Механическая прочность не менее 5 МПа после облучения дозой $10^8$ рад.
Прочность против изменения температуры.	Механическая прочность не менее 5 МПа после 30 циклов заморозки и размораживания (от $-40^\circ\text{C}$ до $+40^\circ\text{C}$ )
Прочность после погружения в воду	Механическая прочность не менее 5 МПа после 90 дней погружения под водой

#### ***1.5.4. Способность выщелачивания кондиционированных блоков отходов***

Способность выщелачивания отработанных блоков отходов с различными радиоактивными изотопами оценивают по средней скорости

выщелачивания  $NR_i$  для каждого изотопа (на  $г/см^2$ ) или средняя скорость потери массы (на  $г/см^2$ ). Эти параметры оцениваются различными способами, которые одобрены МАГАТЭ (например, процедура оценки соответствует стандарту ISO 6961-1982) чтобы определить концентрации радиоактивных изотопов (г/л) или их отдельных радиоактивностей (Бк/л) в воде после определенного количества времени в контакте с блоком отходов  $\Delta_i$  (день). Соотношение выщелачивания отдельного радиоактивного изотопа рассчитывается по формуле:

$$f_i = \frac{w_i}{w_o} \quad (3)$$

где:  $w_i$  - масса радиоактивного изотопа в блоке отходов.

$w_o$  – масса блока отходов.

Радиоактивность отдельного радиоактивного изотопа выщелачивания из блока отходов рассчитывается по формуле:

$$q_i = \frac{A_i}{w_o} \quad (4)$$

где:  $A_i$  - Радиоактивность отдельного радиоактивного изотопа в блоке ОТХОДОВ

$w_o$  – масса блока отходов

Средняя скорость выщелачивания нерадиоактивного иона  $NR_i$  ( $г/см^2$ .день) рассчитывается по формуле:

$$NR_i = \frac{c_i V}{f_i S \Delta t} \quad (5)$$

где:  $S$  - Площадь поверхности блока отходов

$V$  - Объем воды в выщелачивающей среде (л)

$\Delta t$  - Время контроля (день).

Средняя скорость выщелачивания радиоактивного иона  $NR_i$  ( $\text{г/см}^2 \cdot \text{день}$ ) рассчитывается по формуле:

$$NR_i = \frac{a_i V}{q_i S \Delta t} \quad (6)$$

где  $a_i$  (Бк/л) - Индивидуальная радиоактивность радиоактивного изотопа в воде.

Скорость потери массы  $NL_i$  радиоактивных и радиоактивных ионов рассчитывается по следующим формулам:

$$NL_i = \frac{c_i V}{f_i S} \quad (7)$$

и

$$NL_i = \frac{a_i V}{q_i S} \quad (8)$$

Можно вычислить скорость отдельного выщелачивания обозначенного радиоактивного изотопа ( $r_i$ ) по формуле:

$$r_i = NR_i q_i \quad (9)$$

где

$NR_i$  – Средняя скорость выщелачивания радиоактивного иона ( $\text{г/см}^2 \cdot \text{день}$ )

$q_i$  - Доля радиоактивного иона в блоке отходов.

Чем скорость выщелачивания и доля радиоактивного иона в блоке отходов, тем скорость отдельного выщелачивания. Если отходы имеют высокий индекс  $q_i$ , то необходимо сохранить его в более стабильной форме с помощью нескольких защитных барьеров, чтобы минимизировать индекс  $f_i$ .

### ***1.5.5. Процедура расчета выщелачивания в соответствии со стандартом ANSI/ANS 16.1 – 1986.***

Стандарт ANSI/ANS 16.1 – 1986 используется для оценки потенциала выщелачивания из блока радиоактивных отходов в водную среду путем растворения и проникновения в течение 90 дней.

#### *Подготовка проб*

Методы получения проб идентичны для каждого типа затвердевания отходов.

Способ приготовления образца специализирован для каждой методики затвердевания РАО. Для проведения тестирования могут использоваться только образцы, которые собираются стандартными методами. Используем предварительные испытания обеспечения того, чтобы образцы были типичными для процесса цельной затвердевания, и все параметры образцов верны. Размер проб должен быть достаточно мало для обеспечения радиационной безопасности, но не слишком мало, чтобы вмешиваться в однородность образцов, требует слишком высокочувствительного метода анализа или подготовки слишком сложно. Все пробы должны быть подготовлены в том же состоянии, что и условие реального поля.

Пробы должны иметь определенный вес и объем. Поверхность проб должна быть такой же, как поверхность реального затвердевшего блока отходов. Пробы должны иметь призматическую, цилиндрическую или сферическую форму. Контейнер проб должен быть изготовлен из материалов, которые не реагируют с образцами (например, полиэтилен, полипропилен, нержавеющая сталь, керамика или стекло). Внимание: Это нет материала подходит для всех типов проб.

#### *Контейнер, используемый в испытании на выщелачивание.*

Контейнер, используемый в испытании на выщелачивание, должен быть изготовлен из материала, который не реагирует с каким-либо компонентом в испытании. Материал должен быть:

- Не химически реагирует с растворителем
- Не адсорбирует любые химические вещества, которые протекают из проб или растворителя.
- Не выделяет никаких химических веществ, которые влияют на процесс выщелачивания или изменяют состав растворителя.

Контейнер должен быть спроектирован для предотвращения испарения растворителя (менее 2% растворителя в течение 24 часов). Размер контейнера должен быть достаточно большим, чтобы обеспечить большую часть поверхности проб с растворителем (не менее 98%) во время испытания.

#### *Растворитель*

В этом испытании, растворитель требует отбора проб и замены через определенное количество времени. Растворитель - это дистиллированная вода с удельной проводимостью менее 5 мкОм/ см при 25°C и общим содержанием органического углерода менее 3 ппм. Кроме того, растворитель необходимо поддерживать при температуре от 17,5 до 27,5°C все время эксперимента.

#### Метод испытания на выщелачивание

Перед испытанием образец должен быть погружен в дистиллированную воду через 30 секунд. Этот объем воды должен быть точно равен объему растворителя, который будет использоваться во всем испытании.

Контейнер пробы также должен погружаться в воду (с тем же объемом), чтобы собрать все радиоактивные нуклиды, прикрепленные к внутренней части контейнера. Промытую воду контейнера и пробы собирают вместе и анализируют на радиоактивные нуклиды. Результат будет использован для



других формул как  $(ar / A0) I$ , представляют собой отношение радиоактивных нуклидов как в промывной воде  $(ar) i$ , так и в образце  $(A0) i$ . Эта формула будет использоваться для расчета каждого отдельного радиоактивного нуклида. Каждый параметр испытания рассчитывается и сообщается своевременно.

Проба помещается на подложку, также изготовленную из инертного материала с условием, что сторонник не влияет на процесс замещения растворителя, процесс выщелачивания и повреждает поверхность образца. Кроме того, сторонник должен убедиться, что он покрывает не более 2% поверхности пробы. Сторонник обычно изготавливается тонкой проволокой для удовлетворения всех вышеперечисленных требований. Положение образца также должно обеспечить толщину растворителя со всех сторон образцов более 10 см.

Объем растворителя  $V_L$  и площадь поверхности образцов  $S$  должны удовлетворять формуле:

$$V_L/S > 10 \quad (10)$$

После каждого цикла отбора проб растворитель будет заменен новым. Проба быстро удаляется из контейнера с растворителем и помещается в новый контейнер с новым растворителем. После того как старый растворитель был взят для анализа, контейнер необходимо тщательно очистить, чтобы удалить следы радиоактивных нуклидов. Во время замены растворителя проба должна соприкасаться с воздухом как можно меньше и в любом случае никогда не позволять поверхности пробы сохнуть.

Скорость выщелачивания радиоактивных нуклидов в виде индекса выщелачивания рассчитывается на основе цикла замены растворителя. Поэтому цикл замены растворителя должен быть одинаковым во всех экспериментах. Растворитель будет отбираться через 2, 7 и 24 часа после начала эксперимента и каждые 24 часа в течение следующих 4 дней. После этого в течение 14, 28 и 43 дней, когда эксперименты заканчиваются через 90 дней  $(5 + 14 + 28 + 43)$ ,

происходит более 3 циклов. Помимо 90-дневной процедуры, можно использовать процедуру сокращения, без 3 последних точек выборки. Это означает, что процедура сокращения занимает всего 5 дней [6].

## 2. Методика экспериментов

### 2.1 Оценка влияния соотношения между радиоактивным осадком и цементом

Жидкий РАО будет нейтрализован с помощью  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  с образованием РАО в форме осадка. В процессе цементации кондиционирования РАО не только твердый продукт должен обладать достаточной химической и физической стойкостью, но также необходимо минимизировать количество вторичных отходов. Первый эксперимент состоит в том, чтобы выяснить наиболее подходящее соотношение между цементом и РАО, чтобы удовлетворить этим требованиям выше.

Поскольку испытание на выщелачивание проводят в соответствии со стандартом ANSI/ANS 16.1-1986, пробы цементации должны быть подготовлены в соответствии с требованиями настоящего стандарта.

Использовали цементный тип – смесь портландцемента РСW-30. Это самый популярный и дешевый тип цемента на рынке. Коэффициент тестирования варьируется от 30–60 % цемента.

Таблица 2.1. Цемент – РАО соотношения в эксперименте

Проба		1	2	3	4	5	6
Цемент	Масса (г)	17,5	20	22,5	25	27,5	30
	Процент	35	40	45	50	55	60
Осадка РАО	Масса (г)	32,5	30	27,5	25	22,5	20
	Процент	65	60	55	50	45	40

Смесь цемента и РАО будет представлять собой форму в цилиндрической форме с длиной 10 см и диаметром 2 см. После формования проба будет оставлена для отверждения на 72 часа.

## **2.2 Цементация с различными типами цемента**

Для определения наиболее подходящего типа цемента для процесса цементации для эксперимента были выбраны несколько типов цемента, в том числе:

- Портландцементная смесь PCW-30
- Портландцементная смесь PCW-40
- Белый портландцемент PCW-30-2
- Сульфатостойкий портландцемент PCSr-30

### **Оценка механической прочности на сжатие**

А) Эксперименты проводились с отношением цемента к осадку РАО равным 40:60. Цементные смеси формовали в кубической форме размером  $5 \times 5 \times 5$  см в соответствии с требованием механического испытания вьетнамского стандарта TCVN 3118: 1993 в тестер LAS XD 737.

Б) Тест на выщелачивание.

Согласно стандарту ANSI / ANS-16.1-1986 и фактическому лабораторному состоянию, пробы для цементации РАО были приготовлены в цилиндрической форме с длиной 10 см и диаметром 2 см. При таком размере образцы будут иметь общую площадь поверхности  $69,08 \text{ см}^2$  и вес примерно 50 г. Перед погружением в водный растворитель образцы оставляли на 72 часа отверждения.

Пробы подвешены на тонкой проволоке в пластиковом ковше с 10 литрами воды и размером 30 см в высоту и диаметром 30 см. Таким образом, эксперименты удовлетворяют трем требованиям ANSI / ANS-1986: более 98 % площади поверхности проб подвергается воздействию растворителя, объем растворителя составляет по меньшей мере в 10 раз больше площади поверхности образцов и слоя растворителя во всех направлениях.

Кроме того, для упрощения расчета скорости выщелачивания каждого отдельного радиоактивного нуклида и иона тяжелого металла из цементного блока пробы погружаются в 5 литров дистиллированной воды. Отбор проб будет проводиться после 3, 6, 9, 12 дней для анализа содержания тяжелых металлов, таких как Pb, Hg, U, Th.

### **2.3 Оценка влияния добавки бентонита и эпоксидной смолы**

Фактически, для повышения способности к захвату цемента и минимизации количества вторичных отходов обычно используются некоторые добавки. Существует много силикатов, например: цеолит, вермикулит, бентонит и другие глинистые минералы могут быть использованы в качестве сорбционных добавок радиоактивных нуклидов в смеси цементации. Во многих предшествующих исследованиях доказано, что ион  $Cs^+$ ,  $Co^{2+}$  или  $Ce^{3+}$  представляют собой радиоактивные нуклиды  $^{137}Cs$ ,  $^{60}Co$  и  $^{144}Ce$  могут быть легко абсорбированы и иммобилизованы в силикатах алюминия при  $pH = 5,0 \pm 0,5$ .

Кроме того, свойства цементного блока могут быть улучшены добавлением полимеров. Некоторые полимеры могут использоваться в качестве агента для кондиционирования РАО. Одной из них является эпоксидная смола (образованная из мономера [2.2-bis (4-hydroxy phenyl) propan]) , она может присоединяться к ионам РАО и захватывает их в своей полимерной матрице под подходящим катализатором. Физическое свойство эпоксидной смолы может меняться в зависимости от количества добавок [7, 8].

В следующих экспериментах использовали бентонит и эпоксидную смолу с различным соотношением, чтобы определить их влияние на блок цемент-РАО. Эксперименты проводятся с соотношением осадка РАО: цемент - 60:40. Рафинированный бентонит (в форме тонкого порошка) будет использоваться при различном соотношении: 5, 7,5 и 10 %, эпоксидная смола - 2,3 и 6 %. Эпоксидная смола также была испытана как слой покрытия для блока цемент-РАО.

Испытания на выщелачивание проводятся в соответствии со стандартом ANSI/ANS -16.1-1986 и механическими испытаниями на прочность при сжатии по стандарту TCVN 3118-1933.

### 3 Результаты экспериментов

#### 3.1. Содержание проб сточных вод и осадок

Измерения рН показали высокую кислотность в пробе сточных вод. Большинство результатов испытаний показало рН ниже 2, со средним уровнем рН = 1,89.

Анализ образца воды на содержание металлов с помощью масс-спектрометрии указывает на высокий уровень радиоактивных элементов, присутствующих в воде, что очень опасно для окружающей среды и человеческих жизней. Подробное содержание металлических элементов в сточной воде приведено в таблице 3.1.

Таблице 3.1. Концентрации металлических элементов в пробе сточных вод

Элементы	Концентрация (мг/л)
Алюминий	4980,267
Железо	4101,435
Медь	6,203
цинк	833,722
мышьяк	15,858
Свинец	0,545
Торий	7,967
Уран	143,898
Меркурий	0,013

Согласно таблице 2.1, проба сточных вод имеет высокую концентрацию ионов металлов в целом, особенно алюминия, железа (4–5 г/л) и цинка (~ 1 г/л). Кроме того, есть ионы, такие как свинец, ртуть, медь и мышьяк, которые чрезвычайно опасны для здоровья человека и могут накапливаться в морских живых организмах. Концентрация этих ионов намного превышает уровень

российского стандарта для сброса сточных вод в окружающую среду (СанПиН 2.1.5.980-00) или вьетнамский стандарт для промышленных сточных вод (QCVN 24: 2009).

В образце сточных вод также присутствует высокая радиоактивность радиоактивных изотопов, таких как уран, торий и радий. Содержание радия в образце составляет 0,004 мг/л, что эквивалентно уровню радиоактивности 145 Бк/л, что в 72 раза превышает максимально допустимый уровень 2 Бк/л согласно вьетнамскому стандарту TCVN 4397: 1987.

После нейтрализации образца сточных вод гидроксидом натрия отходы осадка собирали и сушили в сухом коробе при 105 °С для определения содержания воды в нем. Результаты приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2. Содержание воды в пробе осадка

	Мокрый осадок	Высушенный материал	Содержание воды, %
Количество осадка (г)	30	10,38	65,4
	30	11,19	62,7
	30	8,97	70,1
	30	11,07	63,1

Благодаря высокому содержанию воды в пробах осадка дополнительная вода в процессе цементации не требуется. Мы также взвешиваем образцы осадка, чтобы убедиться, что они тяжелее воды, и будут погружаться естественным образом при проведении экспериментов. Результаты приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3. Плотность проб осадка

Пробы	Объем (см <sup>3</sup> )	Масса (г)	Плотность (г/см <sup>3</sup> )
D1	100	127,6	1,276



D2	100	130,2	1,302
D3	100	130,5	1,305
Средний			1,295

В процессе нейтрализации весь металл и радиоактивное содержание из воды полностью переносятся из сточных вод в осадок, поэтому концентрация тяжелых металлов и радиоактивных ионов не изменяется. Эта концентрация может быть рассчитана и результаты расчета представлены в табл. 3.4.

Таблица 3.4. Концентрации тяжелых металлов и радиоактивных элементов в осадке

Элементы	Hg	Pb	Ra	Th	U
Сточные воды (мг/л)	0,013	0,545	0,004	7,967	143,898
Осадка (мг/л)	0,026	1,09	0,008	15,934	287,796
Осадка (мг/ кг)	0,02	0,84	0,006	12,304	222,236

Этот тип отработанного осадка с этим содержанием будет использоваться во всех последующих экспериментах по цементации и испытаниям на герметичность в этом исследовании.

## **3.2. Влияние содержания цемента на цементный блок**

### ***3.2.1. Влияние на целостность***

После выдержки в течение 72 часов образцы 2–6 с содержанием цемента от 40 до 60 % отверждаются. Образец 1, содержащий только 35 % цемента и 65 % осадка, не перешел в твердое состояние за данное время, поэтому этот образец нецелесообразно использовать.

В соответствии с принципом ALARA при обращении с радиоактивными отходами, чтобы минимизировать вторичные отходы, а также для экономии количества используемого цемента, формула образца 2 с 40 % цемента и 60 % отработанного шлама по весу будет использоваться во всех дальнейших экспериментах.

### **3.2.2. Утечка радиоактивного изотопа и ионов тяжелых металлов из цементного блока**

Отходы и цемент смешивают в 3 разных соотношениях: осадок:цемент = 40:60, 50:50 и 60:40, соответственно. Эти образцы представляют цилиндрическую форму с длиной 10 см и диаметром 2 см. Время настройки составляет 72 часа.

Для испытания на герметичность они висят тонкой проволокой, полностью погружаются в 5 литров дистиллированной воды, чтобы максимизировать контактную поверхность между образцами и водой. Через 9 дней мы берем образцы воды и анализируем содержание тяжелых металлов с использованием методов масс-спектрометрии (ICP-MS). Результаты приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 Содержание тяжелых металлов в пробе утечки

Проба	Цемент/Осадок	Тяжёлые металлы (мкг/л - ппб)			
		Pb	Hg	Th	U
M1.1	100 : 0	0,0049	2,3870	0,0021	0,0037
M2.1	60 : 40	0,0064	1,6420	0,0164	0,4329
M3.1	50 : 50	0,0049	2,2020	0,0022	0,1969
M4.1	40 : 60	0,0058	1,2600	0,0021	0,2290

Как видно из таблицы 3.5:

- Содержание опасных тяжелых металлов (например, свинца, ртути) ниже максимального уровня, разрешенного на вьетнамском стандарте

промышленных сточных вод TCVN 5945, которые составляют 100 мкг/л для свинца и 5 мкг/л для ртути.

- Проба М4.1 с 40 % цементом и 60 % осадка почти так же эффективна для предотвращения утечки тяжелых металлов в воду. Кроме урана, концентрация тяжелого металла почти равна белому образцу. Для этого результата формула 40 % цемента и 60 % отработанного осадка считаются наиболее эффективными и будут использоваться в следующих экспериментах.

Из количества отработанного осадка в пробе можно рассчитать количество используемой воды и размер цементного блока, скорость выщелачивания и процентное содержание каждого элемента.

Площадь каждого цементного блока:  $10 \times 2 \times \pi + 2 \times 1 \times \pi \sim 69,1 \text{ см}^2$

Согласно таблице 3.4, количество тяжелого металла в образце, содержащего 30 г шлама, составляет 0,0252; 0,0006; 6 667 и 0,3690 мг соответственно.

Скорости выщелачивания и проценты этих металлов приведены ниже (таблица 3.6).

Таблица 3.6. Скорости выщелачивания и проценты ионов Pb, Hg, Th и U из цементного блока РСВ-30 с различными формулами.

Ион		Проба 2.1	Проба 3.1	Проба 4.1
Pb	В пробе	0,0168	0,021	0,0252
	Коэффициент выщелачивания	$0,445 \cdot 10^{-3}$	0	$0,18 \cdot 10^{-3}$
	Скорость выщелачивания (г/см <sup>2</sup> . день)	$12,05 \cdot 10^{-12}$	0	$7,25 \cdot 10^{-12}$
Hg	В пробе	0,0004	0,0005	0,0006
	Коэффициент выщелачивания	0	0	0

	Скорость выщелачивания (г/см <sup>2</sup> . день)	0	0	0
U	В пробе	4,444	5,556	6,667
	Коэффициент выщелачивания	0,485.10 <sup>-3</sup>	0,174.10 <sup>-3</sup>	0,170.10 <sup>-3</sup>
	Скорость выщелачивания (г/см <sup>2</sup> . день)	3,45.10 <sup>-9</sup>	1,55.10 <sup>-9</sup>	1,81.10 <sup>-9</sup>
Th	В пробе	0,246	0,308	0,369
	Коэффициент выщелачивания	0,29.10 <sup>-3</sup>	0	0
	Скорость выщелачивания (г/см <sup>2</sup> . день)	0,11.10 <sup>-9</sup>	0	0

Как мы видим, все процентное содержание выщелачивания ионов радиоактивных и тяжелых металлов ниже 0,1 %. Концентрация их в воде не превышает допустимый уровень в соответствии с вьетнамским стандартом для использования поверхностных вод TCVN 5945:2005. В результате можно сделать вывод, что цементный РСW-30 является подходящим материалом для кондиционирования радиоактивных сточных вод и шлама.

### **3.3. Исследование различных типов цемента**

#### **3.3.1. Прочность на сжатие**

Блоки цемента были изготовлены в кубической форме размером 5 x 5 x 5 см. Пробы разрешены устанавливать за 72 часа (3 дня). Результаты испытаний прочности приведены ниже:

Таблица 3.7. Прочность на сжатие цементно-осадочного блока с использованием различных типов цемента.

Проба	ML1	ML2	ML3	ML4
Типа цемента	PCW-30	PCW-40	PCW-30	PCSR30
Точка сломана (МПа)	6,2	6,8	5,7	5,9

Результаты показывают, что прочность на сжатие цементно-осадочного блока значительно слабее, чем чистый цементный блок, который имеет прочность около 12-18 МПа в возрасте 3 дней. Причиной этого явления является высокое значение рН отработанного ила после нейтрализации щелочным раствором (около 9-10), и это разрушает процесс гидратации в цементном блоке, когда он установлен. Однако через 72 часа цементный блок имеет достаточную прочность на сжатие (> 5 МПа) для кондиционирования и консервации радиоактивных отходов низкого уровня, поэтому все типы цемента подходят для кондиционирования осадка радиоактивных отходов.

Согласно результатам, цементный PCW-40 изготавливает самый прочный цементный блок с прочностью на сжатие 6,8 МПа, далее он представляет собой PCW -30 (6,2 МПа). Особый тип цемента, например, белый портландцемент PCW, солеустойчивый цемент PCSr не вносит существенного различия в прочность цементных блоков.

Если учитывать показатель доступности и стоимости / стоимости, цементный PCW -30 подходит для цементации в больших масштабах и будет перенесен на следующие эксперименты.

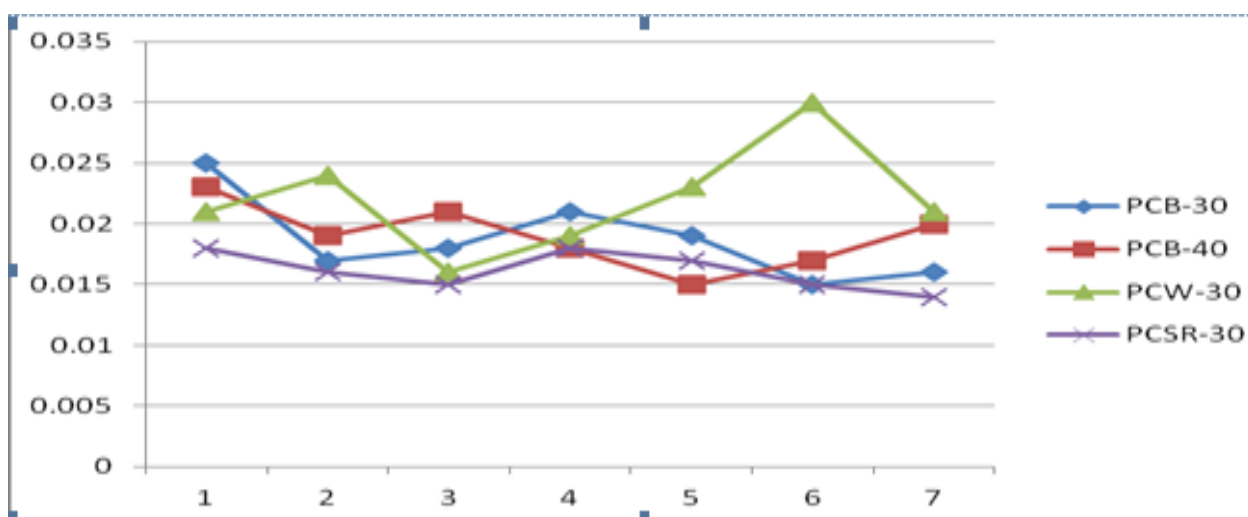
### 3.3.2. Эффективность предотвращения утечки радиоактивных изотопов

Образцы готовятся, как в части 2.2.2. Образец воды после сбора будет немедленно подан для борьбы с расчетом  $\alpha$  и  $\beta$ -излучения. Результаты приведены в табл. 3.8 (в Бк / л)

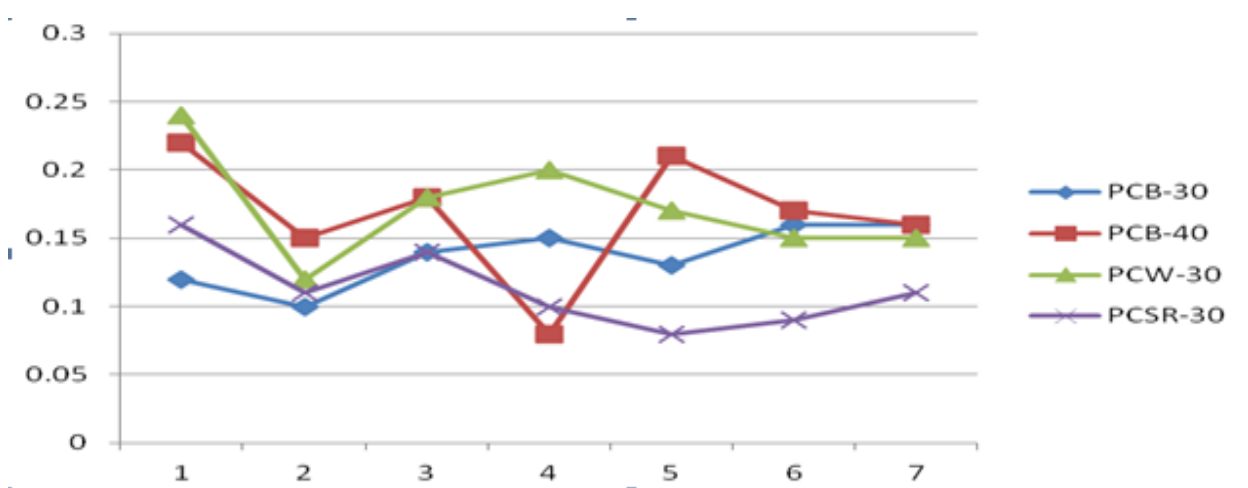
Таблица 3.8. Сравнение утечки  $\alpha$  и  $\beta$ -излучения от блоков цемента различного типа в воду через промежутки времени.

Точка времени		2 часа	7 часов	24 часов	48 часов	72 часов	96 часов	120 часов
Цемент РСВ-30	$\alpha$ излучения	0,025	0,017	0,018	0,021	0,019	0,015	0,013
	$\beta$ излучения	0,32	0,10	0,14	0,15	0,13	0,16	0,16
Цемент РСВ-40	$\alpha$ излучения	0,023	0,019	0,021	0,018	0,015	0,017	0,020
	$\beta$ излучения	0,22	0,16	0,15	0,18	0,08	0,21	0,17
Цемент РСВ-30	$\alpha$ излучения	0,021	0,024	0,016	0,019	0,023	0,030	0,021
	$\beta$ излучения	0,24	0,12	0,18	0,20	0,17	0,15	0,15
Цемент РСr30	$\alpha$ излучения	0,018	0,016	0,015	0,018	0,017	0,015	0,014
	$\beta$ излучения	0,16	0,11	0,14	0,10	0,08	0,09	0,11

### $\alpha$ излучение



### $\beta$ излучение



**Рисунок 3.1. Графики сравнения утечки радиоактивных изотопов из цементного блока**

Из таблицы 3.8 следует, что излучение (включая  $\alpha$  и  $\beta$ ) удовлетворяет вьетнамскому стандарту сточных вод (QCVN 40: 2011), для чего требуется  $\alpha$ -излучение менее 0,1 Бк/л и 1 Бк/л для  $\beta$ .

Легко понять, что количество радиоактивных изотопов резко возрастает в первые два часа и довольно стабильно после того, как кристаллы растворимых солей радиоактивных отходов на поверхности образца цементного блока легко смываются из него, увеличивая скорость течи в начале фазы.

Три типа цемента: PCB-30, PCB-40 и PCW-30 не заметили различий в индексе утечки, когда только PCSr-30 немного лучше предотвращает

выщелачивание ионов металлов до воды. Это потому, что PCSr-30 является солеустойчивым цементом, и он определенно обладает более высокой химической стойкостью, чем обычные аналоги, потому что другие изготовлены из почти одинаковых компонентов.

Как и выше, скорость утечки и процент тяжелых металлов и радиоактивных ионов также рассчитывается путем погружения блоков осадка-цемент в дистиллированную воду в течение 9 дней. Результаты приведены ниже:

Таблица 3.9. Содержание тяжелых металлов в выщелачивающем растворе из различных типов цементного блока

Проба	Типа цемента	Концентрация ионов металлов (мкг/л - ппб)			
		Pb	Hg	Th	U
M4.1	PCW-30	0,0058	1,2600	0,0021	0,2290
M5.1	PCSr-30	0,0045	0,7497	0,0018	0,1138
M6.1	PCW-30	0,0081	2,7740	0,0070	0,2940
M7.1	PCW-40	0,0144	2,9840	0,0075	0,4276

Из таблицы 3.9 фактическая скорость и процент выщелачивания рассчитываются следующим образом:

Таблица 3.10. Скорость выщелачивания и процент ионов Pb, Th и U от различных типов цементного блока.

Элементы		Проба 5.1	Проба 6.1	Проба 7.1
Pb	В пробе	0,0252	0,0252	0,0252
	Коэффициент выщелачивания	0	$0,635 \cdot 10^{-3}$	$1,904 \cdot 10^{-3}$
	Скорость выщелачивания	0	$0,26 \cdot 10^{-9}$	$0,77 \cdot 10^{-9}$



	(г/см <sup>2</sup> . день)			
U	В пробе	6,667	6,667	6,667
	Коэффициент выщелачивания	0,083.10 <sup>-3</sup>	0,218.10 <sup>-3</sup>	0,318.10 <sup>-3</sup>
	Скорость выщелачивания (г/см <sup>2</sup> . день)	0,89.10 <sup>-9</sup>	2,33.10 <sup>-9</sup>	3,41.10 <sup>-9</sup>
Th	В пробе	0,369	0,369	0,369
	Коэффициент выщелачивания	0	0,067.10 <sup>-3</sup>	0,073.10 <sup>-3</sup>
	Скорость выщелачивания (г/см <sup>2</sup> . день)	0	39,4.10 <sup>-12</sup>	43,4.10 <sup>-12</sup>

Как мы видим, все процентное содержание выщелачивания ионов радиоактивных и тяжелых металлов ниже 0,1%. Концентрация их в воде не превышает допустимый уровень в соответствии с вьетнамским стандартом для использования поверхностных вод TCVN 5945: 2005.

Среди этих типов цемента PCSr-30 имеет лучший результат для предотвращения ионного выщелачивания металла в окружающую среду, причем процент выщелачивания Pb, U и Th едва превышает 0.

Однако PCSr-30 намного дороже и скуднее, чем PCB-30, поэтому для кондиционирования большого количества радиоактивных отходов очень низкого уровня, скорее всего, из процесса добычи урана, цемент PCB-30 по-прежнему остается верным выбором.

### 3.4. Влияние добавок на цементный блок

#### 3.4.1. Влияние на прочность на сжатие

Различные эксперименты проводятся с несколькими добавками для определения того, как это влияет на целостность и способность предотвращать процесс выщелачивания цементного блока. Результаты приведены ниже:

Таблица 3.11. Плотность и прочность на сжатие цементного блока с различными типами и содержанием добавок

Проба	Формула	Плотность	Прочность на сжатие
Мпг-1	40% цемент + 60% осадок	2,07 г/см <sup>3</sup>	5,8 МПа
Мпг -2	35% цемент + 5% бентонит + 60% осадок	2,05 г/см <sup>3</sup>	6,1 МПа
Мпг -3	32,5% цемент + 7,5% бентонит + 60% осадок	2,05 г/см <sup>3</sup>	6,6 МПа
Мпг -4	30% цемент + 10% бентонит + 60% осадок	1,97 г/см <sup>3</sup>	6,5 МПа
Мпг -5	30,5% цемент + 7,5% бентонит + 2% ероху + 60% осадок	2,07 г/см <sup>3</sup>	7,1 МПа
Мпг -6	29,5% цемент + 7,5% бентонит + 3% ероху + 60% осадок	2,06 г/см <sup>3</sup>	7,3 МПа
Мпг -7	26,5% цемент + 7,5% бентонит + 6% ероху + 60% осадок	2,08 г/см <sup>3</sup>	8,0 МПа
Мпг -8	32,5% цемент + 7,5% бентонит + 60% осадок, покрытый слоем эпоксидной смолы толщиной 1 мм.	2,08 г/см <sup>3</sup>	7,0 МПа

Из приведенных выше результатов можно сделать вывод:

- Поскольку плотность бентонита немного легче, чем цементно-осадочное соединение, поэтому при добавлении бентонита плотность цементного блока уменьшается на 1-5% по сравнению с блоком без бентонита. С другой стороны,

эпоксидная смола имеет плотность 2,25 г/см<sup>3</sup>, в результате чего добавление эпоксидной смолы сделает цементный блок более тяжелым на 1-1,5 %.

- С точки зрения прочности на сжатие, добавление в смесь 7,5 - 10% содержания бентонита в цементном блоке увеличилось на 13%. Бентонит с высокой экспансивной способностью при сорбции воды заполняет всю пористую часть цементного блока, когда смесь установлена. Однако общий объем пористой части в блоке конечен, поэтому добавление бентонита навсегда не улучшит прочность блока, даже повлияет на процесс установки цемента в смеси. Поэтому 7,5 % считается идеальным соотношением для бентонита в качестве добавки цементно-осадочного блока.

- В сравнении с цементом, эпоксидная смола имеет значительно лучшую прочность на сжатие до 120 МПа. В результате, с содержанием эпоксидной смолы на 6 %, этот цементный блок на 23 % прочнее по сравнению с блоком с 7,5 % бентонитом и на 38 % прочнее по сравнению с блоком без каких-либо добавок.

### ***3.4.2. Эффекты добавок на предотвращение выщелачивания тяжелых металлов и радиоактивных ионов***

Эксперименты проводились точно так же, как и в части 3.2.2, результаты приведены в таблице 3.12.

Таблица 3.12. Сравнение утечек  $\alpha$  и  $\beta$  из цементных блоков с различными типами добавок в воду после периодов времени

Проб а	Точка времени		2	7	24	48	72	96	120
			часо в	часо в	часо в	часо в	часо в	часо в	
Мпр1	32,5% цемент + 7,5%	$\alpha$ излучени я	0,02 8	0,020	0,018	0,021	0,019	0,017	0,018

	бентонит	$\beta$ излучени я	0,27	0,24	0,22	0,18	0,19	0,20	0,21
Мпр 2	30% цемент + 10 % бентонит	$\alpha$ излучени я	0,02 2	0,017	0,016	0,018	0,017	0,018	0,020
		$\beta$ излучени я	0,24	0,18	0,20	0,20	0,18	0,18	0,21
Мпр 3	30,5% цемент + 7,5% бентонит + 2% ероху	$\alpha$ излучени я	0,02 0	0,017	0,018	0,019	0,020	0,024	0,021
		$\beta$ излучени я	0,25	0,17	0,18	0,15	0,16	0,16	0,15
Мпр 4	26,5% цемент + 7,5% бентонит + 6% ероху	$\alpha$ излучени я	0,01 8	0,014	0,013	0,014	0,015	0,014	0,015
		$\beta$ излучени я	0,21	0,15	0,14	0,16	0,14	0,15	0,13
Мпр 5	32,5% цемент + 7,5% бентонит, покрытый слоем эпоксидно й смолы	$\alpha$ излучени я	0,01 0	0,012	0,009	0,011	0,013	0,012	0,012
		$\beta$ излучени я	0,04	0,05	0,05	0,04	0,06	0,04	0,05

	толщиной 1 мм								
--	------------------	--	--	--	--	--	--	--	--

- Все процентное содержание выщелачивания ионов радиоактивных и тяжелых металлов ниже 0,1 %. Концентрация их в воде не превышает допустимый уровень в соответствии с вьетнамским стандартом для использования поверхностных вод TCVN 5945: 2005.

- При добавлении бентонита 7,5 %, цементный блок лучше работает с точки зрения предотвращения утечки металла и радиоактивных ионов в окружающую среду.

- При добавлении 2 % эпоксидной смолы производительность цементного блока не изменялась значительно, но с 6% -ным количеством этого полимера количество просочившегося иона значительно уменьшалось. Особенно, когда покрытие цельного цементного блока слоем эпоксидной смолы, никакие радиоактивные ионы не могут выйти из цементного блока в течение первых 7 часов. За все время исследования этот образец сам по себе не имел кристалла соли, вытолкнутого на поверхность, как и каждый другой образец.

Вывод: использование добавок в качестве бентонита и эпоксидной смолы значительно повышает производительность цементного блока, как с точки зрения прочности на сжатие, так и для предотвращения выщелачивания (от 20 до 40%). Кроме того, когда крышка цементного блока с 1 мм эпоксидной смолой почти предотвращает все выщелачивание металла и радиоактивных ионов в настоящее время.

# ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1EM51	Нгуену Ану Тхаю

<b>Институт</b>	<b>ИНК</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ЭБЖ</b>
<b>Уровень образования</b>	<b>Магистратура</b>	<b>Направление/специальность</b>	<b>Техносферная Безопасность</b>

<b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b>	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Определение и анализ трудовых и денежных затрат, направленных на реализацию научного исследования
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Ставка по отчислениям во внебюджетные фонды.
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
Комплексное описание и анализ финансово-экономических аспектов выполненной работы; оценить полные денежные затраты на исследование; дать экономическую оценку результатов ее внедрения	Определение потенциальных потребителей результатов исследования и анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения, оценка готовности проекта к коммерциализации
Планирование проведения и формирование бюджета научных исследований	Определение структуры плана проекта и трудоёмкости работ, разработка графика проведения НИИ, бюджет НИИ.
Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Определение интегрального показателя финансовой эффективности, интегрального показателя ресурсоэффективности, интегрального показателя эффективности и сравнительной эффективности вариантов исполнения.
<b>Перечень графического материала</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сегментирование рынка</li> <li>2. Оценка конкурентоспособности технических решений</li> <li>3. Календарный план проекта</li> <li>4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</li> </ol>	

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Баннова Кристина Андреева	к.т.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1EM51	Нгуен Ан Тхай		

## **Введение**

Целью данного раздела работы является технико – экономическое обоснование научно – исследовательской работы (НИР). Оно проводится с целью определения и анализа трудовых и денежных затрат, направленных на реализацию НИР, а также уровня научно – технической результативности НИР.

Для достижения поставленных целей данного раздела поставлены следующие задачи [1]:

- Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научного исследования;
- Определение возможных альтернатив проведения научного исследования, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- Организация и планирование работ;
- Расчет трудоемкости выполненных работ;
- Расчет сметы затрат на исследование;
- Оценка научно – технической результативности НИР.

## **Предпроектный анализ**

### **4.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Для того чтобы определить потребителей результата научно – технических исследований по теме "Исследование сорбентов для иммобилизации радиоактивных отходов" необходимо рассмотреть стоимости и доступности методов иммобилизации РАО.

На мировом рынке в настоящее время иммобилизации РАО производят следующие методы : цементация, битуминизация, остекловывание и иммобилизация РАО в полимерной матрице. Результаты сегментирования приведены на таблице 4.1

Таблица 4.1 – Карта сегментирования рынка источника питания для светодиодных светильников.

	Метод иммобилизации
--	---------------------



Потребители (Типы РАО)	Цементация	Битуминизация	Остекловывание	Иммобилизация в полимерной матрице
Очень низко- активные РАО				
Низкоактивные РАО				
Среднеактивные РАО				
Высокоактивные РАО				
Очень высокоактивные РАО				

#### 4.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности методов иммобилизаций радиоактивных отходов.

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 4.2, подобраны, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки и эксплуатации.

Таблица 4.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Повышение производительности труда пользователя	0.1	4	5	5	0.4	0.5	0.5
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0.2	4	5	3	1	1	0.6
3. Надежность	0.1	5	5	4	0.5	0.5	0.4

4. Простота эксплуатации	0.1	5	4	4	0.5	0.4	0.4
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Конкурентоспособность продукта	0.08	5	5	4	0.32	0.4	0.32
2. Уровень проникновения на рынок	0.07	4	5	4	0.21	0.35	0.28
3. Цена	0.1	5	3	4	0.5	0.3	0.4
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0.08	4	4	5	0.24	0.32	0.4
5. Послепродажное обслуживание	0.06	3	5	4	0.18	0.3	0.24
6. Срок выхода на рынок	0.05	5	4	5	0.25	0.2	0.25
7. Наличие сертификации разработки	0.06	4	5	5	0.24	0.3	0.3
<b>Итого</b>	<b>1</b>	46	50	47	4.34	4.57	4.09

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1 [1].

Изучая полученные результаты можно сказать, что разрабатываемая лабораторная установка является конкурентоспособной. Сильными сторонами являются удобство в эксплуатации, надежность и низкая цена. Слабыми сторонами являются предполагаемый срок эксплуатации, уровень проникновения на рынок и послепродажное обслуживание.

Для устранения этих недостатков необходимо производить более глубокие маркетинговые исследования, разрабатывать более детальные условия обслуживания после продажи.

### 4.3 FAST-анализ

В качестве объекта FAST-анализа выступает

Таблица 4.3 – Классификация функций, выполняемых объектом исследования.

Наименование детали	Количество деталей на узел	Выполняемая функция	Ранг функции		
			Главная	Основная	Вспомогательная
Пластиковые	5	Удержание воды в	X		

ящики для испытаний		процессе испытаний			
Опорный провод для проб блока цементации	20	Удержание пробы в испытательной камере для выщелачивания			X
Пробоотборник	1	Сбор пробы		X	
Формы проб	6	Формирование проб цементных блоков		X	

Таблица 4.4 – Матрица смежности.

	Функция 1	Функция 2	Функция 3	Функция 4
Функция 1	=	>	>	>
Функция 2	<	=	<	>
Функция 3	<	>	=	>
Функция 4	<	<	<	=

Таблица 4.5 – Матрица количественных соотношений функций

	Функция 1	Функция 2	Функция 3	Функция 4	ИТОГО
Функция 1	1	1,5	1,5	1,5	5,5
Функция 2	0,5	1	0,5	1,5	3,5
Функция 3	0,5	1,5	1	1,5	4,5
Функция 4	0,5	0,5	0,5	1	2,5
					$\Sigma=16$

Для функции 1 относительная значимость равна  $5,5/16 = 0,34$ ; для функции 2 –  $3,5/16 = 0,22$ ; для функции 3 –  $0,28$ ; для функции 4 –  $0,16$ .

Таблица 4.6 – Определение стоимости функций, выполняемых объектом исследования.

Наименование узла	Количество	Выполняемая функция	Норма расхода кг	Трудоемкость узла, нормоч	Стоимость материала, руб.	Заработная плата, руб.	Себестоимость, руб.
Пластиковые	5	Удержание	-	-	100	0	500

ящики для испытаний		воды в процессе испытаний					
Опорный провод для проб блока цементации	20	Удержание пробы в испытательной камере для выщелачивания	-	-	10	0	200
Пробоотборник	1	Сбор пробы	-	-	1200	0	1200
Формы проб	6	Формирование проб цементных блоков	-		50	0	300

Для функции 1 относительный затрат равен  $5,5/2458 = 0,41$ ; для функции 2 –  $300/2458 = 0,12$ ; для функции 3 –  $0,41$ ; для функции 4 –  $0,06$ .

Функционально-стоимостная диаграмма объекта представлена в рис. 1.



Рисунок 4. Функционально-стоимостная диаграмма.

Построенная функционально-стоимостная диаграмма позволяет выявить диспропорции между важностью (полезностью) функций и затратами на них.

Анализ приведенной выше ФСД показывает явное наличие рассогласования по функциям 2, 4. Необходимо провести работы по ликвидации данных диспропорций.

В качестве конкретных шагов, которые необходимо предложить на данном этапе, должны выступать предложения связанные с экономией за счет:

- применения принципиально новых конструкторских решений;
- устранения функционального резерва;
- оптимизации технических параметров;
- унификации сборочных единиц и деталей;
- совмещения функций в сборочных единицах и деталях;
- оптимизации параметров надежности;
- повышения ремонтпригодности;
- применения новых техпроцессов, заготовок и материалов и т.д.

В конечном счете результатом проведения FAST-анализа высокотехнологической и ресурсоэффективной разработки должно быть снижение затрат на единицу полезного эффекта, достигаемое путем:

- сокращения затрат при одновременном повышении потребительских свойств объекта;
- повышения качества при сохранении уровня затрат;
- уменьшения затрат при сохранении уровня качества;
- сокращения затрат при обоснованном снижении технических параметров до их функционально необходимого уровня;
- повышения качества при некотором, экономически оправданном увеличении затрат.

#### **4.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации**

Для оценки готовности проекта к коммерциализации необходимо заполнить специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта. Перечень вопросов приведен в таблице 7. При проведении анализа по таблице, приведенной выше, по каждому показателю

ставится оценка по пятибалльной шкале. При этом система измерения по каждому направлению (степень проработанности научного проекта, уровень имеющихся знаний у разработчика) отличается. Так, при оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Таблица 4.7 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	5
	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	5
	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	5
	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	5	5
	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	1	1
	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	5	4
	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1
	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	4	4
	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	5
	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный	1	2

	рынок		
	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	5	5
	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	5	5
	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
	Проработан механизм реализации научного проекта	2	2
	<b>ИТОГО БАЛЛОВ</b>	50	54

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:  $B_{\text{сум}} = \sum B_i$  где  $B_{\text{сум}}$  – суммарное количество баллов по каждому направлению;  $B_i$  – балл по  $i$ -му показателю.

Значение  $B_{\text{сум}}$  позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации.  $B_{\text{сум}}$  имеет следующие значения 54 и 50, значит перспективность разработки источника питания выше среднего.

### **Инициация проекта**

#### **4.5 Цели и результат проекта**

Целью проекта является создания источника питания для светодиодных светильников. Информация по заинтересованным сторонам проекта представлена в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности, ИНК, НИ ТПУ	Применение более эффективного метода цементирования низкоактивных РАО

В таблице 4.9 предоставлена информация об иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 4.9 – Цели и результат проекта

<b>Цели проекта</b>	<b>Создания источника питания для светодиодных светильников</b>
Ожидаемые результаты проекта	1) Процедура цементации РАО; 2) Результаты испытаний;
Критерии приемки результата проекта	Выполнение пунктов графы «Ожидаемые результаты проекта».
Требования к результату	Соответствует техническому заданию

#### 4.6 Организационная структура проекта

Таблица 4.10 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудовые затраты, час.
1	Назаренко О. Б. д. т. н., профессор каф. ЭБЖ, ИНК, ТПУ	Руководитель проекта	отвечает за реализацию проекта в пределах заданных ограничений по ресурсам, координирует деятельность участников проекта	240
2	Нгуен Ан Тхай Магистрант группы 1ЕМ51, ЭБЖ, ИНК, ТПУ	Исполнитель проекта	специалист, выполняющий отдельные работы по проекту	960

#### Планирование управление научно-техническим проектом

##### 4.7 План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный и сетевой графики проекта. Линейный график представляется в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – календарный план проекта

Основные этапы	№ Раб.	Наименование работ	Исполнитель
Подготовительный	1	Постановка задачи и целей дипломного проекта, принятие задания к выполнению	Руководитель Студент
	2	Подбор и изучение материалов по тематике	Руководитель Студент
	3	Анализ предметной области	Руководитель Студент
	4	Выявление участников и основных шагов выполнения	Руководитель Студент
Проектирование	5	Расчет параметров установки по	Студент





		методу размерной цепи	
	6	Присвоение экспериментальных процедур для оценки качества процесса иммобилизации.	Студент
	7	Разработка конструкции электрооборудований, входящих в установку	Руководитель Студент
	8	Обработки результаты анализа	Руководитель Студент
Оформление документации и подготовка отчета	9	Оформление пояснительной записки и подготовка к защите	Руководитель Студент

Таблица 4.12 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Код работы	Вид работ	Исполнители	Длительность, дни	Продолжительность выполнения работ														
				февр.			март			апрель			май					
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	Постановка задачи и целей проекта, принятие задания к выполнению	НР С	1	1														
2	Подбор и изучение материалов по тематике	С	11		1	2												
3	Анализ предметной области	С	5			1	2											
4	Выявление участников и основных шагов выполнения	НР С	4				1	2										
5	Выбор формы и стандарта испытаний на целостности и выщелачивание.	НР С	5					1	2									
6	Подготовка цементного блока	С	7						1	2								
7	Испытания цементационных погружений и выщелачивания	С	13							1	2	3						
8	Испытание на прочность на сжатие цементного блока из различных типов цемента	С	6								1	2	3					
9	Испытание на прочность на сжатие цементного блока с различными добавками.	С	16										1	2	3			
10	Отбор проб и анализ проб выщелачивания	НР С	5												1	2		
11	Заключение по вариантам	С	5														1	2
12	Разработки технологического процесс	НР	5															1

	изготовления электронного блока по подобранному варианту	С															
13	Оформление пояснительной записки и подготовка к защите	НР С	11														

 - научный руководитель;  студент

#### 4.8 Бюджет научного исследования

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода. Результат расчета приведен в таблицу 4.12.

Таблица 4.12 – Затраты на материалы

Наименование	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Лабораторное оборудование		-	1000
Цемент	5	10	50
<b>Всего за материалы</b>			1050
<b>Транспортно-заготовительные расходы (5%)</b>			21
<b>Итого по статье С<sub>м</sub></b>			1071

#### Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены. Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного НТИ и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений.

Таблица 4.13 - Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ.

№	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс.руб.	Общая стоимость оборудования, тыс.руб.
---	---------------------------	----------------------------	-------------------------------------	--

1	Компьютер	1	35	35
2	Тепловой резак	1	1	1
Всего за специальное оборудование				36
Монтажу в размере 15% от его цены				5,4
Итого:				41,4

### Основная заработная плата

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

где:  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12-20 % от  $Z_{осн}$ ).

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:  $Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{дн}$  – средневзвешенная заработная плата работника, руб.

Средневзвешенная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}$$

где  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11.2$  месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10.4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}$$

где  $Z_{\text{тс}}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент, равный 0.3 (т.е. 30% от  $Z_{\text{тс}}$ );

$k_{\text{д}}$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0.2 – 0.5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20% от  $Z_{\text{тс}}$ );

$k_{\text{р}}$  – районный коэффициент, равный 1.3 (для Томска).

Таблица 4.14 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней	52	52
- выходные дни	27	27
- праздничные дни		
Потери рабочего времени		
- отпуск	24	48
- невыходы по болезни	0	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	263	239

Таблица 4.15 – Заработная плата

Исполнители	$Z_{\text{тс}}$ , руб.	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$ , руб.	$Z_{\text{дн}}$ , руб.	$T_{\text{р}}$ , раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$ , руб.
Руководитель	23264.86	0.3	0.3	1.3	48390.91	2060.75	31	63883.36

Студент	6342.03			1.3	8244.639	239.84	91	21834.54
Итого $Z_{\text{осн}}$								85717.9

### Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}$$

где  $Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата, руб.

Таблица 4.16– Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Исп.
Основная зарплата	85717.9
Дополнительная зарплата	10286.145
Итого по статье $C_{\text{зп}}$	96004.048

### Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

Отчисления во внебюджетные фонды руководителя проекта:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0.27 \cdot 96004.048 \approx 25921.1 \text{ (руб.)}$$

где  $k_{\text{внеб}} = 0.27$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

## Накладные расходы

Эта статья содержит затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др.

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы [1]. Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}})$$

где  $k_{\text{накл}} = 90\%$  – коэффициент накладных расходов.

Общая сумма накладных расходов составляет 86403.64 рублей.

Планируемые затраты разгруппированы по статьям и представлены в таблице 4.17.

Таблица 4.17 – Статьи затрат

№ п/п	Статьи затрат	Сумма, руб.
1	Затраты на материалы	1071
2	Затрат на специальное оборудование	41400
3	Основная заработная плата	85717.9
4	Дополнительная заработная плата	10286.145
5	Отчисления на социальные нужды	25921.1
6	Накладные расходы	86403.64

## Оценка эффективности исследования

В результате выполнения поставленных в данном разделе задач, можно сделать следующие выводы:

– Технический проект имеет несколько важных преимуществ, обеспечивающих повышение производительности и экономичности технического производства.

– Составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта, а также дать рекомендации по оптимизации этих затрат.

– Оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат, что говорит об эффективности реализации технического проекта.

– Оценки возможности снижения массы и стоимости производства источника с помощью результатов моделирования.

С учетом вышеотмеченного, можно заключить, что реализация данного технического проекта, позволяет увеличить эффективность производства, как социальную, путем улучшения безопасности, так и ресурсосберегающую, путем внедрения более универсального оборудования, требующего меньше затрат при эксплуатации

## СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1EM51	Нгуену Ану Тхаю

<b>Институт</b>		<b>Кафедра</b>	
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	20.04.01 «Техносферная безопасность»

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования и области его применения	<i>В работе проведен анализ сорбционных методов очистки жидких радиоактивных отходов с дальнейшей их иммобилизацией.</i>
---	--

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<b>1. Производственная безопасность</b> 1.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований. 1.2. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.	<i>Исследовать возможные вредные и опасные факторы в лаборатории, такие как: уровень освещенности, производственный шум, электрический ток, температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Описать и обосновать мероприятия по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов</i>
<b>2. Экологическая безопасность</b> 2.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду. 2.2. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	<i>Анализ воздействия отходов на окружающую среду.</i>
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях</b> 3.1. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований. 3.2. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.	<i>Выявить возможные ЧС и разработать методы по их предотвращению и ликвидации последствий. Возможная чрезвычайная ситуация в лаборатории – пожар. Обосновать мероприятия по предотвращению пожара, разработать порядок действия в случае возникновения пожара и обозначить меры по ликвидации ее последствий.</i>
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</b> 4.1. Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства. 4.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.	<i>Рассмотреть правовые нормы трудового законодательства и организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</i>



<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент кафедры ЭБЖ	Сечин Андрей Александрович	Кандидат технических наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
1EM51	Нгуен Ан Тхай		

## 5. Социальная ответственность

В текущем разделе рассматриваются вопросы социальной ответственности, охраны труда и техники безопасности, связанные с работой в лаборатории, а также разрабатываются мероприятия по предотвращению воздействия на здоровье работников лаборатории опасных и вредных факторов, создание безопасных условий труда.

В работе рассматривается аудитория № 256, которая расположена на втором этаже 8 учебного корпуса ТПУ по адресу Усова 7. В аудитории № 256 расположен следующее оборудование: 6 персональных компьютеров; лабораторное оборудование; проектор и экран. Габариты помещения: 12х6,5х4м. Стены окрашены матовой краской светло-бежевых тонов, потолки светлые. В кабинете имеется 4 оконных проема размером 1,6х2,2 м с общей площадью 14,08 м<sup>2</sup>.

### 5.1 Профессиональная социальная безопасность

#### 5.1.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов

Во время проведения работ, связанных с анализом данных по ВКР, работник может столкнуться с рядом различных вредных и опасных факторов, представленных в таблице 1.

Таблица 5.1 – Опасные и вредные факторы при изготовлении образцов ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ

Наименование видов работ	Вредные и опасные факторы	Нормативные документы
Работа в лаборатории: 1) Организация рабочего места; 2) Обработка полученных данных за компьютером	1. Повышенная или пониженная температура рабочей зоны; 2. Повышенная или пониженная влажность воздуха; 3. Недостаточная освещенность рабочей зоны; 4. Повышенный уровень шума на	ГОСТ 12.1.007 – 76 «ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности»; ГОСТ 12.2.003 – 91 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности»; ГОСТ 12.1.005 – 88 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»; ГОСТ 12.1.038 – 82 «ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений

Наименование видов работ	Вредные и опасные факторы	Нормативные документы
	рабочем месте; 5. Электрический ток; 6. Вредные вещества.	прикосновения и токов»; СП 52.13330 – 2011 «Естественное и искусственное освещение»; СП 5159 – 89 «Санитарные правила при производстве и применении эпоксидных смол и материалов на их основе»; ГОСТ 12.4.011 – 89 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты работающих. Общие требования и классификация».

#### 5.1.1.1. Параметры микроклимата

На условия работы в помещении влияют такие параметры как температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Нормы параметров микроклимата для помещения без избытка выделения тепла для работ второй категории тяжести приведены в таблице 32 согласно ГОСТ 12.1.005-88 [1].

Таблица 5.2 – Нормы параметров микроклимата

Наименование параметров и единицы измерения	В холодное время	В теплое время
Температура, °С	20...22	22...25
Относительная влажность, %	30...60	30...60
Скорость движения воздуха, м/с	Не более 0,2	Не более 0,5

В аудитории № 256 температура зимой 20 – 22 °С, летом 22–25 °С. Влажность – 55 %, скорость движения воздуха – 0,2 м/с. Эти данные соответствуют нормам.

#### 5.1.1.2. Освещенность

Немаловажную роль имеет освещенность рабочего места. От степени освещенности напрямую зависит не только здоровье глаз и работоспособность человека, но еще и его физическое и психоэмоциональное состояние.

Оценка освещенности рабочей зоны необходима для обеспечения нормативных условий работы в помещениях и проводится в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Согласно СанПиНу норма освещенности для

лаборатории в высшем учебном заведении составляет 400 Лк [2]. В аудитории № 256 освещенность находится в пределах нормы.

### **5.1.1.3 Производственный шум**

Шум является одним из наиболее распространенных в производстве факторов. Он создается работающим оборудованием, преобразователями напряжения, работающими осветительными приборами дневного света, а также проникает извне. Действие шума разнообразно: от затруднения разборчивости речи, провоцирования снижения работоспособности, повышения утомляемости, до вызова необратимых изменений в органах слуха человека. Люди, работающие при постоянных шумовых эффектах, жалуются на головную боль, быструю утомляемость, бессонницу и сонливость, ослабляется внимание, ухудшается память.

Нормативным документом, регламентирующим уровни шума для различных рабочих мест, является ГОСТ 12.1.003 – 80 [3].

Шум на рабочих местах создается внутренними источниками – вентиляторы в ЭВМ, и внешними источниками – шум с улицы.

Согласно паспорта ЭВМ уровень ее шумов не превышает 42 дБ, а нормы для проведения исследовательской работы с использованием ЭВМ – 50 дБ. Поэтому никаких мер защиты от шума в нашем помещении не требуется и не предусмотрено.

### **5.1.1.4 Электробезопасность**

В процессе использования электроприборов и электрооборудования может возникнуть опасность поражения электрическим током. По опасности поражения током лаборатория относится к помещениям без повышенной опасности.

## **5.1.2 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов**

Согласно проведенному анализу, в лаборатории могут возникнуть следующие вредные и опасные производственные факторы:

- Опасность поражения электрическим током;

Чтобы исключить опасность поражения электрическим током необходимо соблюдать следующие правила электробезопасности:

- перед включением прибора в сеть должна быть визуально проверена его электропроводка на отсутствие возможных видимых нарушений изоляции, а также на отсутствие замыкания токопроводящих частей на корпус;

- при появлении признаков замыкания необходимо немедленно отключить от электрической сети устройство и устранить неисправность;

- запрещается при включенном устройстве одновременно прикасаться к приборам, имеющим естественное заземление (например, радиаторы отопления, водопроводные краны и др.)

- запрещается эксплуатация оборудования в помещениях с повышенной опасностью;

- запрещается включать и выключать устройство при помощи штепсельной вилки. Штепсельную вилку включать и выключать из розетки можно только при выключенном устройстве [4].

Существуют следующие способы защиты от поражения током в электроустановках:

- предохранительные устройства;
- защитное заземление;
- применение устройств защитного отключения;
- зануление.

Самый распространенный способ защиты от поражения током при эксплуатации измерительных приборов и устройств – защитное заземление, которое предназначено для превращения «замыкания электричества на корпус» в «замыкание тока на землю» для уменьшения напряжения прикосновения и напряжения шага до безопасных величин (выравнивание потенциала).

## **5.2 Экологическая безопасность**

Вопросы влияния радиоактивных отходов на окружающую среду, а также мероприятия по защите окружающей среды подробно рассмотрены в разделе «Литературный обзор».

## **5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

### **5.3.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований**

Федеральный закон № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», принятый 22 июля 2008 г., определяет основные положения технического регулирования в области пожарной безопасности и устанавливает общие требования пожарной безопасности к объектам защиты (продукции), в том числе к зданиям и сооружениям, промышленным объектам, пожарно-технической продукции и продукции общего назначения.

Источником возгорания может оказаться неисправность и неправильная эксплуатация электроустановок. Возникновение пожара при работе с оборудованием может быть как электрического, так и неэлектрического характера.

Причины возникновения пожара неэлектрического характера:

- халатное неосторожное обращение с огнем (курение, оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня);
- самовоспламенение и самовозгорание веществ.

Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п.

Для устранения причин возникновения пожаров в помещении лаборатории должны проводиться следующие мероприятия:

- а) сотрудники лаборатории должны пройти противопожарный инструктаж;

б) сотрудники обязаны знать расположение средств пожаротушения и уметь ими пользоваться;

в) необходимо обеспечить правильный тепловой и электрический режим работы оборудования;

г) пожарный инвентарь и первичные средства пожаротушения должны содержаться в исправном состоянии и находиться на видном, легкодоступном месте.

Пожарная безопасность объектов народного хозяйства, в том числе электрических установок, регламентируется ГОСТ 12.1.004 – 91 «Пожарная безопасность. Общие требования» [5], а также строительными нормами и правилами, межотраслевыми Типовыми правилами пожарной безопасности на отдельных объектах.

Здание, в котором находится лаборатория, воздвигнуто из устойчивого к воздействию пожара материала, а именно кирпича, и относится к зданиям второй степени огнестойкости.

Согласно ФЗ РФ №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22 июля 2008 г., статья 32 о классификации зданий, сооружений и пожарных отсеков по функциональной пожарной опасности, лаборатория относится к классу Ф4.2 – здания образовательных организаций высшего образования, организаций дополнительного профессионального образования. В качестве возможных причин пожаров можно указать следующие:

- различные короткие замыкания;
- опасна перегрузка сетей, влекущая за собой сильный нагрев токоведущих частей и загорание изоляции;
- нередко пожары происходят при пуске оборудования после ремонта.

Для предупреждения пожаров от короткого замыкания, перегрузок, необходимы правильный выбор, монтаж и соблюдение требуемого режима эксплуатации электросетей, дисплеев и других электрических средств автоматизации.

Мероприятия, необходимые для предупреждения пожаров:

- проведение противопожарного инструктажа;
- соблюдение норм, правил при установке оборудования, освещения, направленных на предупреждение возникновения пожара;
- эксплуатация оборудования в соответствии с техническим паспортом;
- рациональное размещение оборудования;
- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования;
- запрещение курения в неустановленном месте.

Для тушения пожаров используются воздушно-механическая пена, углекислый газ, а также галогидрированные углеводороды.

На этаже имеются порошковые огнетушители ОП-4 и углекислотные огнетушители ОУ-5.

### **5.3.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС**

На случай возникновения пожара в лаборатории должны быть в наличии первичные средства тушения пожара. Так как основная опасность – неисправность электропроводки, то при пожаре необходимо немедленно обесточить электросеть в помещении. Главный рубильник должен находиться в легкодоступном месте. До момента выключения рубильника, очаг пожара можно тушить сухим песком или углекислотными огнетушителями. Одновременно с этим необходимо сбить пламя, охватившее горючие предметы, расположенные вблизи проводников.

Водой и химическими пенными огнетушителями горящую электропроводку следует тушить только тогда, когда она будет обесточена.

При возникновении пожара обязанности по его устранению должны быть четко распределены между работниками лаборатории.





Рисунок 5 – План эвакуации из учебной лаборатории 256 корпуса №8 ТПУ при возникновении пожара

## 5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

### 5.4.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства

Действие норм трудового законодательства и иных нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права по кругу лиц, означает, что они распространяются на всех работников (общие нормы) либо охватывают лишь их отдельные категории (специальные нормы). В соотношении общих и специальных норм выражается единство и дифференциация (различие) правового регулирования труда.

Единство проявляется в общих нормах трудового права, распространяющихся на всех работников и всех работодателей на территории Российской Федерации, что получило свое закрепление, как известно, в Трудовом кодексе.

Все работодатели (физические лица и юридические лица, независимо от их организационно-правовых форм и форм собственности) в трудовых

отношениях и иных непосредственно связанных с ними отношениях с работниками обязаны руководствоваться положениями трудового законодательства и иных актов, содержащих нормы трудового права.

Виды специальных норм трудового права:

- нормы-льготы, предоставляющие дополнительные гарантии трудовых прав (большинство среди специальных норм);
- нормы-приспособления, подстраивающие общие нормы к данным условиям труда (например, отраслевая дифференциация, т. е. по отраслям народного хозяйства, содержит в основном нормы-приспособления);
- нормы-изъятия (ограничивают права по сравнению с общими нормами для некоторых работников – временных, сезонных, государственных служащих и др.).

#### **5.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя**

Рабочее место должно обеспечивать возможность удобного выполнения работ в положении сидя или стоя или в положениях и сидя, и стоя. При выборе положения работающего необходимо учитывать:

- физическую тяжесть работ;
- размеры рабочей зоны и необходимость передвижения в ней работающего в процессе выполнения работ;
- технологические особенности процесса выполнения работ (требуемая точность действий, характер чередования по времени пассивного наблюдения и физических действий, необходимость ведения записей и др.) [5].

При выборе помещения надо учитывать, что норма площади служебных помещений должна составлять не менее 4,5 м<sup>2</sup> на одного работника. При выполнении данной научно-исследовательской работы было задействовано 2 человека: научный руководитель и студент-исполнитель. Кроме того принимается во внимание возможность установки и размещения оборудования и, прежде всего, персональных ЭВМ, принтеров, лабораторного оборудования.

Поэтому, определив состав и тип предполагаемых к размещению технических средств и вспомогательного оборудования, учитывают суммарную площадь, необходимую для их размещения. Расчёт площади на одного сотрудника, работающего за дисплеем компьютера, ведётся от нормы 4,5 м<sup>2</sup> на человека, согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» [6].

При размещении рабочего места и оборудования учитываются размеры, рекомендуемые для проходов:

- между отопительными приборами и рабочим столом – 55 см;
- между стеной и столом – 65 см.

Не желательно располагать экран дисплея напротив окон, а работающему на дисплее – сидеть лицом к окнам.

Габариты мебели должны соответствовать площади помещения. Она не должна загромождать комнату. Данные требования, предъявляемые для рабочего места, при выполнении научно-исследовательской работы были соблюдены.

Проведя анализ вредных и опасных производственных факторов на рабочем месте в учебной аудитории № 256 учебного корпуса № 8, можно сделать вывод о том, что в данном помещении соблюдаются все требования нормативно-правовых документов, что является подтверждением безопасности данного места работы. Нарушений экологической безопасности на рабочем месте не выявлено, угрозы для жизни и здоровья людей не наблюдаются.

## **НОРМАТИВНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
2. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
3. ГОСТ 12.1.003-80. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
4. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – М.: Энергия, 1981. – 590 с.
5. ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.
6. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В этой работе была исследована эффективность процесса иммобилизации жидких радиоактивных отходов низкого уровня активности при цементации различными типами цемента с добавками бентонита и эпоксидной смолы.

Анализ различных методов кондиционирования жидких РАО показал перспективность такого метода иммобилизации РАО низкого уровня активности как цементирование.

В ходе исследований было определено наиболее подходящее соотношение между цементом и шламом РАО на уровне 40% / 60%. Затвердевший блок имеет прочность на сжатие 6,2 МПа и способность размещать радиоактивные нуклиды, такие как Th, U и ионы тяжелых металлов, предотвращая их рассеивание в окружающую среду.

Установлено, что портландцементная смесь РСW-30 подходит для кондиционирования шлама РАО, удовлетворяя требованиям к механической прочности на сжатие и способности к неподвижным радиоактивным нуклидам.

Показано, что добавки в виде бентонита (7,5 %) и эпоксидной смолы (3 %) значительно улучшают характеристики цемента в процессе цементирования РАО как по физическим, так и по химическим свойствам.

С эффективными добавками существует вероятность того, что количество используемого цемента может быть дополнительно уменьшено. Это означает, что будет производиться меньше вторичных отходов. В качестве рекомендации по совершенствованию метода цементации РАО предлагается исследовать потенциально эффективные добавки, такие как летучая зола и шлак.

## Список публикаций студента

1. Nguyen A. T. Effect of radiation on characteristics of epoxy polymer // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XVII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени профессора Л.П. Кулёва, посвященной 120-летию Томского политехнического университета, 17–20 мая 2016 г., г. Томск. — Томск : Изд-во ТПУ, 2016. — С. 516-517.
2. Нгуен А. Т. Иммобилизация радиоактивных отходов с использованием эпоксидной смолы // Неразрушающий контроль: сборник трудов VI Всероссийской научно-практической конференции "Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность", Томск, 23-27 мая 2016 г. : в 3 т. — Томск : Изд-во ТПУ, 2016. — Т. 3. — С. 240-243.
3. Назаренко О.Б., Мельникова Т.В., Висак П.М., Нгуен А.Т. Влияние комбинированного наполнителя на термическую стойкость эпоксидных композитов // Энергетика: эффективность, надежность, безопасность: Материалы докладов XXI Всероссийской научно-технической конференции. – Томск: Изд-во «Скан», 2015. – Т. 2. – С. 29–32.
4. Nguyen A. T., Nazarenko O.B., Visakh P.M. Effect of electron beam irradiation on thermal and mechanical properties of epoxy polymer [Electronic resource] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2017. — Vol. 168 : Radiation-Thermal Effects and Processes in Inorganic Materials (RTEP2016). — [012073, 6 p.]. — Title screen. — Свободный доступ из сети Интернет. Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/168/1/012073> <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/37768>

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Susetyo Hario Puteroa, Widya Rositaa, Haryono Budi Santosaa, Rachmawan Budiarto, The performance of various pozzolanic materials in improving quality of strontium liquid waste cementation, The 3rd International Conference on Sustainable Future for Human Security SUSTAIN 2012.
2. IAEA Technical Report Number 222 - Conditioning of Low and Intermediate Level Radioactive Wastes – 1983.
3. МАГАТЭ - Технологические и организационные аспекты обращения с радиоактивными отходами – Серия Учебных Курсов 27 – 2005
4. W.E. Lee, An Introduction to Nuclear waste immobilisation, 2005
5. Safety series No. 111-G-1.1; Classification of Radioactive Waste, A Safety Guide; A Publication within the RADWASS Programme, IAEA, Vienna 1994;
6. S.Goni, M.S.Hernandez, A.Guerrero, Cemented matrices used in the storage of low and medium radioactive waste, Spanish experience, Madrid, Spain, 2009;
7. K.Sakr, M.S.Sayed, M.B.Hafez; Immobilization of radioactive waste in mixture of cement, clay and polymer, 2002
8. American National Standard, ANSI/ANS-16.1-1986: Measurement of the Leachability of Solidified Low-Level Radioactive Wastes by a Short-Term Test Procedure, 1986.
9. International Atomic Energy Agency, Predisposal Management of low and intermediate level Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series No. WS-G-2.5, IAEA, Vienna (2009).
10. Wenfeng Zhang, Jianlong Wang; Leaching performance of uranium from the cement solidified matrices containing spent radioactive organic solvent, Annals of Nuclear Energy 101, c31-35, 2017.
11. Qina Sun, Jun Hu, Jianlong Wang, Optimization of composite admixtures used in cementation formula for radioactive evaporator concentrates, Progress in Nuclear Energy 70, c1-5, 2014.

12. Jantzen C.M, Ojovan M.I, Lee W.E , Radioactive waste management and contaminated site clean-up: Processes, technologies and international experience, Cambridge UK: Woodhead, 2013
13. IAEA, Predisposal Management of low and intermediate level Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series No.WS-G-2.5, Vienna, 2009;
14. Wayne S.Adaska, Stewart W.Tresouthick, Presbury B.West, Solidification and Stabilization of wastes using Portland cement, 1998,
15. Nguyen Ba Tien, Review methods of treating Radioactive Waste, RWMC, Vietnam Atomic Energy Institutes.
16. Nguyen Trung Son, Cao Hung Thai, Than Van Lien, A study of treatment procedure of liquid radioactive waste from uranium milling process, Vietnam Atomic Energy Institutes.
17. Федеральный закон "Об использовании атомной энергии" от 21.11.1995 N 170-ФЗ (действующая редакция, 2016).
18. Федеральный закон "Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" от 11.07.2011 N 190-ФЗ (действующая редакция, 2016)
19. Правительства Российской Федерации от 19 октября 2012 г. № 1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов».
20. American National Standard, ANSI/ANS-16.1-1986: Measurement of the Leachability of Solidified Low-Level Radioactive Wastes by a Short-Term Test Procedure, 1986
21. Vietnam National Standard TCVN 6260:2009 , Portland cement blend – Technical Requirement.
22. Vietnam National Standard TCVN 6067:2004, Sulfate resistance Portland cement – Technical Requirement.



23. Vietnam National Standard TCVN 5945:2005, Industrial waste water : Discharge Standard.
24. Vietnam National Standard TCVN 4397:1987, Regulation of ionization radiation safety.
25. Vietnam National Standard TCVN 3118:1993, Heavy concrete – Method of determining compressive strength of concrete blocks.

## Приложение А

### Chapter 3: Results of the study

Студент:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
1EM51	Нгуен Ан Тхай		

Консультант кафедры ЭБЖ:

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Профессор	Назаренко Ольга Брониславовна	Доктор технических наук		

Консультант – лингвист кафедры ИЯФТ:

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Старший преподаватель	Данейкина Наталья Викторовна			

### 3.1 Contents of the waste water and sludge samples.

The pH tests revealed high acidity of the waste water sample. Most of the test results in pH level below 2 with an average value is 1,89.

Analyzing the metal contents of this sample by mass spectrometry indicated a high level of radioactive elements present in the water, which are very dangerous to environment and human lives. Detailed contents of them are listed in table 3.1 below.

Table 3.1. Concentrations of the metal elements in waste water sample.

Elements	Concentration (mg/l)
Aluminum	4980,267
Iron	4101,435
Copper	6,203
Zinc	833,722
Arsenic	15,858
Lead	0,545
Thorium	7,967
Uranium	143,898
Mercury	0,013

According to table 3.1, waste water sample has a high concentration of metal ions in general, especially aluminum, iron (4 – 5 g/l) and zinc ( ~ 1 g/l). Moreover, there are also ions which are extremely dangerous for human health and potentially accumulate in marine lives like lead, mercury, copper and arsenic. Concentration of these ions are far more excess Russian standard for discharging waste water to environment (СанПиН 2.1.5.980-00) or Vietnamese standard for industrial waste water (QCVN 24:2009).

In the waste water sample also present high radioactivity from radioactive isotopes like uranium, thorium and radium. The radium content in the sample is 0,004 mg/l, equivalent to radioactivity level of 145 Bq/l, 72 times more than maximum allowed level of 2 Bq/l in Vietnamese standard TCVN 4397:1987.

After neutralize the waste water sample by sodium hydroxide, waste sludge was collected and dry in dry box at 105°C to determine water content in it. The results are as follow.

Table 3.2. Water content in sludge samples

	Wet sludge	Dried content	Water content
Sludge amount (g)	30	10,38	65,4%
	30	11,19	62,7%
	30	8,97	70,1%
	30	11,07	63,1%

Because of high water content in the sludge samples, therefore additional water in cementation process is not necessary. We also weigh the sludge samples to make sure they're heavier than water, and would submerge naturally in ongoing experiments.

Table 3.3. Density of sludge samples

Sample	Volume (cm <sup>3</sup> )	Mass (g)	Density (g/cm <sup>3</sup> )
D1	100	127,6	1,276
D2	100	130,2	1,302
D3	100	130,5	1,305
Average			1,295

In the neutralizing process, all of the metal and radioactive content from water were transferred entirely from waste water to sludge, therefore concentration of the heavy metal and radioactive ions is unchanged. This concentration can be calculated as follow.

Table 3.4. Concentrations of heavy metal and radioactive elements in sludge.

Elements	Hg	Pb	Ra	Th	U
Waste water (mg/l)	0,013	0,545	0,004	7,967	143,898
Sludge (mg/l)	0,026	1,09	0,008	15,934	287,796
Sludge (mg/ kg)	0,02	0,84	0,006	12,304	222,236

This type of waste sludge with these contents will be used in all of further cementation and leak testing experiments in this study.

### **3.2. Effect of cement content to cement block.**

#### **3.2.1. Effect on integrity**

After left for settling in 72 hours, from sample 2 to sample 6 with cement content from 40 to 60% are firmly set. Sample 1 with only 35% cement and 65% sludge hasn't set to solid state in the given time, therefore this formula is impractical to use.

Following the ALARA principle when dealing with radioactive waste, in order to minimize secondary waste, also for saving the amount of cement used, formula of sample 2, with 40% cement and 60% waste sludge in weight will be used in all of the further experiments.

#### **3.2.2. Leakage of radioactive isotope and heavy metal ions from cement block.**

Waste sludge and cement are mixed in 3 different formulas: sludge:cement = 40:60, 50: 50 and 60:40 respectively. These samples are mold in the cylindrical shape with 10 cm in length and 2 cm in diameter. The setting time is 72 hours.

For the leak test, they are hang by thin wire, submerge entirely in 5 liters of distilled water to maximize the contact surface between samples and water. After 9 days, we take water samples and analyze for heavy metal contents using mass spectrometry (ICP-MS) methods. The results are as follow:

Table 3.5. Heavy metal content in the leak samples.

Sample	Cement/sludge	Heavy metal contents ( $\mu\text{g/l}$ - ppb)			
		Pb	Hg	Th	U
M1.1	100 : 0	0,0049	2,3870	0,0021	0,0037
M2.1	60 : 40	0,0064	1,6420	0,0164	0,4329
M3.1	50 : 50	0,0049	2,2020	0,0022	0,1969
M4.1	40 : 60	0,0058	1,2600	0,0021	0,2290

As we can see in the table 3.5:

- Contents of the dangerous heavy metals (like lead, mercury ) are below the maximum level allowed in Vietnamese standard of industrial waste water TCVN 5945, which are  $100 \mu\text{g/l}$  for lead and  $5 \mu\text{g/l}$  for mercury.

- Sample M4.1 with 40% cement and 60% sludge are nearly as effective in preventing leakage of heavy metal elements to the water. Except uranium, concentration of heavy metal is nearly equal to white sample. For that result, formula 40% cement and 60% waste sludge is considered the most effective and will be used in the next experiments.

From amount of waste sludge in the sample, amount of the water used and the size of the cement block, leaching speed and percentage of each element can be calculated.

Surface area of each cement block:  $10 \times 2 \times \pi + 2 \times 1 \times \pi \sim 69,1 \text{ cm}^2$

According to table 3.4, amounts of heavy metal in the sample, which contain 30 g waste sludge are 0,0252; 0,0006; 6,6667 and 0,3690 mg respectively.

Leaching speeds and percentages of these metals are as follow.

Table 3.6. Leaching speeds and percentages of Pb, Hg, Th and U ions from cement block of PCB-30 with various formulas.

Ion		Sample 2.1	Sample 3.1	Sample 4.1
Pb	In sample	0,0168	0,021	0,0252
	Leaching percentage	$0,445.10^{-3}$	0	$0,18.10^{-3}$
	Leaching speed (g/cm <sup>2</sup> . day)	$12,05.10^{-12}$	0	$7,25.10^{-12}$
Hg	In sample	0,0004	0,0005	0,0006
	Leaching percentage	0	0	0
	Leaching speed (g/cm <sup>2</sup> . day)	0	0	0
U	In sample	4,444	5,556	6,667
	Leaching percentage	$0,485.10^{-3}$	$0,174.10^{-3}$	$0,170.10^{-3}$
	Leaching speed (g/cm <sup>2</sup> . day)	$3,45.10^{-9}$	$1,55.10^{-9}$	$1,81.10^{-9}$
Th	In sample	0,246	0,308	0,369
	Leaching percentage	$0,29.10^{-3}$	0	0
	Leaching speed (g/cm <sup>2</sup> . day)	$0,11.10^{-9}$	0	0

As we can see, all of the leaching percentage value of radioactive and heavy metal ions are below 0,1%. Concentration of them in the water doesn't excess the allowed level according to Vietnamese standard for surface water use TCVN 5945:2005. As a result, we can conclude that cement PCB-30 is a suitable material for conditioning radioactive waste water and sludge.

### 3.3. Performance of various types of cement.

#### 3.3.1. Performance on compressive strength

The cement blocks were prepared in cubic shape with size of 5 x 5 x 5 cm. Samples are allowed to set in 72 hours (3 days). Test results of compressive strength are as follow:

Table 3.7. Compressive strength of cement-sludge block with various types of cement.

Sample	ML1	ML2	ML3	ML4
Cement type	PCB-30	PCB-40	PCW-30	PCSR30
Break point (MPa)	6,2	6,8	5,7	5,9

The results indicate that compressive strength of cement – sludge block are considerably weaker than a pure cement block, which has strength about 12-18 MPa at age of 3 days. The reason for this phenomenon is high pH value of the waste sludge after neutralized by alkali solution (about 9-10) and it disrupt hydration process in cement block when it set. However, after 72 hours, the cement block has enough compressive strength ( $> 5$  MPa) for conditioning and preserving low level radioactive waste, therefore all of the cement types about are suitable for conditioning radioactive waste sludge.

According to the results, cement PCB-40 make a most robust cement block with compressive strength of 6,8 MPa, follow it is PCB-30 (6,2 MPa). Special type of cement, for example white Portland cement PCW, salt-resistance cement PCSR aren't make significant difference in strength of the cement blocks.

When consider the availability and cost/ value index, cement PCB-30 is suitable for cementation in larger scale and will be carry on to the next experiments.

### **3.3.2. Performance on preventing leakage of radioactive isotopes.**

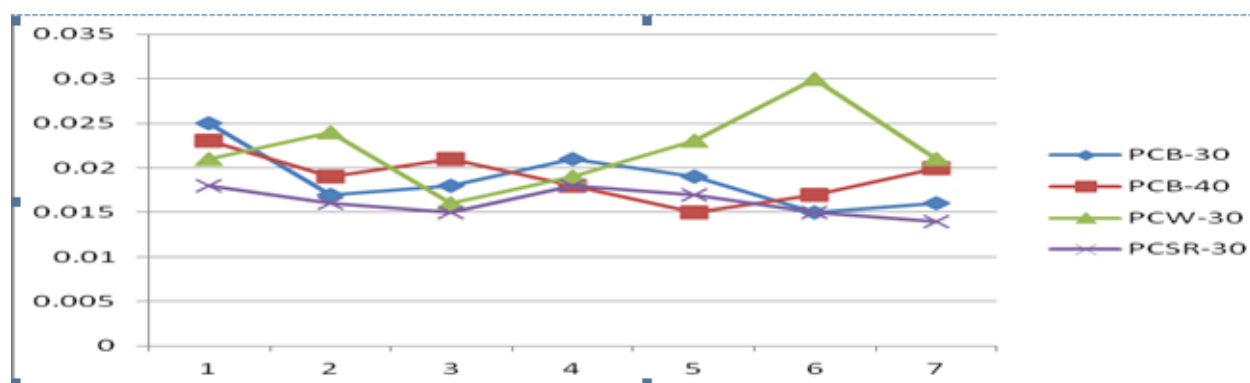
Samples are prepared as in the part 3.2.2. Water sample after collected will be immediately bring to counter for calculating  $\alpha$  and  $\beta$  radiation. Results are as follow (in Bq/l)



Table 3.8. Comparing  $\alpha$  and  $\beta$  radiation leakages from various type cement blocks into water after periods of time.

Time point		2 hours	7 hours	24 hours	48 hours	72 hours	96 hours	120 hours
Cement PCB-30	$\alpha$ radiation	0,025	0,017	0,018	0,021	0,019	0,015	0,013
	$\beta$ radiation	0,32	0,10	0,14	0,15	0,13	0,16	0,16
Cement PCB-40	$\alpha$ radiation	0,023	0,019	0,021	0,018	0,015	0,017	0,020
	$\beta$ radiation	0,22	0,16	0,15	0,18	0,08	0,21	0,17
Cement PCW-30	$\alpha$ radiation	0,021	0,024	0,016	0,019	0,023	0,030	0,021
	$\beta$ radiation	0,24	0,12	0,18	0,20	0,17	0,15	0,15
Cement PCSR30	$\alpha$ radiation	0,018	0,016	0,015	0,018	0,017	0,015	0,014
	$\beta$ radiation	0,16	0,11	0,14	0,10	0,08	0,09	0,11

Radiation  $\alpha$



### Radiation $\beta$

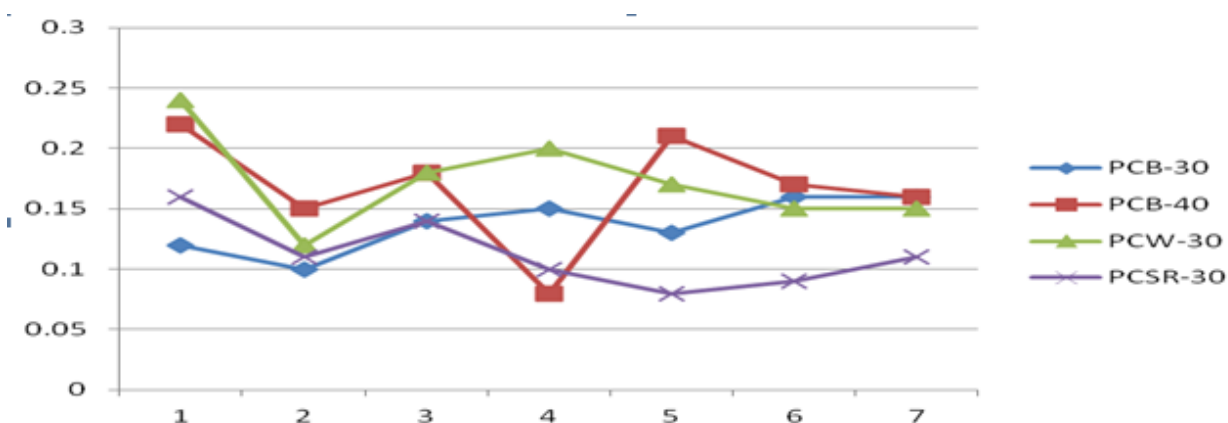


Figure 1. Charts compare radioactive isotopes leak from the cement block.

From Table 3.8, it is concluded that radiation (including  $\alpha$  and  $\beta$ ) is satisfy Vietnamese standard of waste water (QCVN 40:2011), which required  $\alpha$  radiation less than 0,1 Bq/l and 1 Bq/l for  $\beta$ .

It's easily realized that the amount of radioactive isotopes are sharply increasing in the first two hour and quite stable after because soluble salt crystals of the radioactive waste on the surface of cement block sample are easily wash out of it, increasing the leak speed in the beginning phase.

Three types of cement: PCB-30, PBCB-40 and PCW-30 didn't make any noticing different of the leak index when PCSr-30 alone is slightly better at preventing metal ions from leaching to water. It's because PCSr-30 is salt-resistance cement and it definitely has higher chemical resistance property than the ordinary counterparts why the other are made from almost same components.

As above, the leak speed and percentage of heavy metal and radioactive ion are also calculated by submerging the sludge-cement blocks in to distilled water for 9 days. The results are as follow.

Table 3.9. Contents of heavy metals in leaching solution from various types of cement block.

Sample	Cement type	Concentration of metal ions ( $\mu\text{g/l}$ - ppb)			
		Pb	Hg	Th	U

M4.1	PCB-30	0,0058	1,2600	0,0021	0,2290
M5.1	PCSr-30	0,0045	0,7497	0,0018	0,1138
M6.1	PCW-30	0,0081	2,7740	0,0070	0,2940
M7.1	PCB-40	0,0144	2,9840	0,0075	0,4276

From table 3.9, the actual leaching speed and percentage are calculated as follow:

Table 3.10. Leaching speed and percentage of Pb, Th and U ions from various types of cement block.

Elements		Sample 5.1	Sample 6.1	Sample 7.1
Pb	In sample	0,0252	0,0252	0,0252
	Leaching percentage	0	$0,635.10^{-3}$	$1,904.10^{-3}$
	Leaching speed (g/cm <sup>2</sup> . day)	0	$0,26.10^{-9}$	$0,77.10^{-9}$
U	In sample	6,667	6,667	6,667
	Leaching percentage	$0,083.10^{-3}$	$0,218.10^{-3}$	$0,318.10^{-3}$
	Leaching speed (g/cm <sup>2</sup> . day)	$0,89.10^{-9}$	$2,33.10^{-9}$	$3,41.10^{-9}$
Th	In sample	0,369	0,369	0,369
	Leaching percentage	0	$0,067.10^{-3}$	$0,073.10^{-3}$
	Leaching speed (g/cm <sup>2</sup> . day)	0	$39,4.10^{-12}$	$43,4.10^{-12}$

As we can see, all of the leaching percentage value of radioactive and heavy metal ions are below 0,1%. Concentration of them in the water doesn't excess the allowed level according to Vietnamese standard for surface water use TCVN 5945:2005.

Among these types of cement, PCSr-30 has the best result for preventing metal ion from leaching to environment with leaching percentage of Pb, U and Th barely more than 0.

However, PCSr-30 is much more expensive and scarce than PCB-30, therefore for conditioning a large amount of very low level radioactive waste, most likely from uranium mining process, PCB-30 cement is still the right choice.

### 3.4. Effects of additives on cement block.

#### 3.4.1. Effects on compressive strength

Various experiments are carried out with several additives to determine how it affects the integrity and capability of preventing leaching process of the cement block. The results are as follow.

Table 3.11. Density and compressive strength of cement block with various of types and contents of additives.

Sample	Formula	Density	Compressive Strength
Mpg-1	40% cement + 60% sludge	2,07 g/cm <sup>3</sup>	5,8 MPa
Mpg-2	35% cement + 5% bentonite + 60% sludge	2,05 g/cm <sup>3</sup>	6,1 MPa
Mpg-3	32,5% cement + 7,5% bentonite+ 60% sludge	2,05 g/cm <sup>3</sup>	6,6 MPa
Mpg-4	30% cement + 10% bentonite+ 60% sludge	1,97 g/cm <sup>3</sup>	6,5 MPa
Mpg-5	30,5% cement+ 7,5% bentonite + 2% epoxy + 60% sludge	2,07g/cm <sup>3</sup>	7,1 MPa
Mpg-6	29,5% cement+ 7,5% bentonite + 3% epoxy + 60% sludge	2,06 g/cm <sup>3</sup>	7,3 MPa
Mpg-7	26,5% cement + 7,5% bentonite + 6% epoxy +	2,08	8,0 MPa

	60% sludge	g/cm <sup>3</sup>	
Mpg-8	32,5% xi măng + 7,5% bentonite + 60% sludge, cover in 1 mm epoxy resin layer.	2,08 g/cm <sup>3</sup>	7,0 MPa

From above results, we can conclude:

- Because density of bentonite is slightly lighter than cement-sludge compound, therefore when adding bentonite, density of the cement block is decrease 1-5% compare to the block without bentonite. In the other way, epoxy resin has density of 2,25 g/ cm<sup>3</sup>, as a result adding epoxy resin will make the cement block heavier 1-1,5%.

- In term of compressive strength, adding 7,5 – 10% content of bentonite in to the mixture has made cement block stronger 13%. Bentonite with its high expansive ability when adsorbing water, fill all the porous part of cement block when the mixture set. However, total volume of porous part in the block is finite, therefore, keep adding bentonite won't forever improve strength of the block, even tamper with setting process of cement in the mixture. Therefore, 7,5% is considered an ideal ratio for bentonite as an additive of the cement – sludge block.

- Compare to cement, epoxy has much better compressive strength, up to 120 MPa. As a result, with 6% content of epoxy, this cement block is 23% stronger compare to the block with 7,5% bentonite and 38% stronger compare with the block without any additives.

### **3.4.2. Effect of additives on preventing leaching of heavy metal and radioactive ions.**

The experiments were carried on exactly like part 3.2.2 , the results are as follow:

Table 3.12. . Comparing  $\alpha$  and  $\beta$  radiation leakages from cement blocks with various types of additives into water after periods of time.

Sample	Timepoint	2 hours	7 hours	24 hours	48 hours	72 hours	96 hours	120 hours
--------	-----------	------------	------------	-------------	-------------	-------------	-------------	--------------

Mpr1	32,5% cement + 7,5% bentonite	$\alpha$ radiation	0,028	0,020	0,018	0,021	0,019	0,017	0,018
		$\beta$ radiation	0,27	0,24	0,22	0,18	0,19	0,20	0,21
Mpr2	30% cement + 10 % bentolite	$\alpha$ radiation	0,022	0,017	0,016	0,018	0,017	0,018	0,020
		$\beta$ radiation	0,24	0,18	0,20	0,20	0,18	0,18	0,21
Mpr3	30,5% cement + 7,5% bentolite + 2% epoxy	$\alpha$ radiation	0,020	0,017	0,018	0,019	0,020	0,024	0,021
		$\beta$ radiation	0,25	0,17	0,18	0,15	0,16	0,16	0,15
Mpr4	26,5% cement + 7,5% bentolite + 6% epoxy	$\alpha$ radiation	0,018	0,014	0,013	0,014	0,015	0,014	0,015
		$\beta$ radiation	0,21	0,15	0,14	0,16	0,14	0,15	0,13
Mpr5	32,5% cement + 7,5% bentolite cover in 1 mm thick epoxy	$\alpha$ radiation	0,010	0,012	0,009	0,011	0,013	0,012	0,012
		$\beta$ radiation	0,04	0,05	0,05	0,04	0,06	0,04	0,05

- All of the leaching percentage value of radioactive and heavy metal ions are below 0,1%. Concentration of them in the water doesn't excess the allowed level according to Vietnamese standard for surface water use TCVN 5945:2005.

- With 7,5% bentonite added, cement block performed better in term of preventing leakage of metal and radioactive ions to environment.

- With 2% epoxy resin added, performance of the cement block wasn't change considerably, but with 6% amount of this polymer, the amount of leaked ion is greatly reduced. Especially when cover entire cement block with a epoxy resin layer, no radioactive ion can't escape from the cement block in the first 7 hours. In all the time of the study, this sample alone didn't have salt crystal pushed out to the surface as every other sample.

Conclusion: Using additives as bentonite and epoxy greatly enhance the performance of cement block, in both term of compressive strength and preventing leach capability (from 20-40%). Moreover, when cover cement block with 1 mm epoxy resin almost prevent all the leaching of metal and radioactive ions in the time being.

### **3.5. Propose a technical process of radioactive sludge cementation**

From the results of the study, a technical process of cementation of very low level radioactive waste water and sludge can be proposed as below:

Step 1: Waste water (pH = 2) from uranium mining process will be neutralized by calcium hydroxide to transform it to sludge (pH = 9)

Step 2: Sludge with 70% water content will be mixed with PCB-30 cement and additives like bentonite clay, epoxy resin or others...(water added is not necessary) in the tumbling devices, and pack in standard drum or mixing directly inside the drum.

Step 3: After the mix of cement and sludge are set ( 28 days period), waste drum will be transport to repository site.