



004326

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования

**«Магнитогорский государственный
технический университет**

им. Г. И. Носова»

(ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»)

пр. Ленина, д. 38, г. Магнитогорск, Челябинская обл., 455000

Тел.: 8 (3519) 29-84-02; Факс: 8 (3519) 23-57-59, 29-84-26

E-mail: mgtu@mgtu.ru; <http://www.mgtu.ru>

ОКПО 02069384, ОГРН 1027402065437,

ИНН/КПП 7414002238/745601001

Ministry of Science and Higher Education
of the Russian Federation

Federal State Budgetary

Educational Institution of Higher Education

**«Nosov Magnitogorsk State
Technical University»**

(FSBEIHE «NMSTU»)

38, Lenin Street, Magnitogorsk, Chelyabinsk Region, 455000

Tel.: +7 3519 298 402; Fax: +7 3519 235 759, +7 3519 298 426

E-mail: mgtu@mgtu.ru; <http://www.mgtu.ru>

ОКПО 02069384, ОГРН 1027402065437

ИНН/КПП 7414002238/745601001

15.10.2024

№ 66-3410

На/To № _____ от/dated _____

УТВЕРЖДАЮ

Проректор

по научной и инновационной работе
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»

О.Н. Тулупов

2024 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации

на диссертацию **Бамборина Михаила Юрьевича** на тему **«Разработка научно-методической базы обоснования проектных решений технологии строительства пунктов приповерхностного захоронения радиоактивных отходов с учетом использования инновационных конструктивных материалов и высокоэффективных барьеров безопасности»**, представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.8.7 Теоретические основы проектирования горнотехнических систем

Согласно «Положению о порядке присуждения ученых степеней» НИТУ МИСиС в отзыве ведущей организации отражены следующие аспекты:

1. Актуальность темы диссертации и её связь с планами соответствующих отраслей науки и народного хозяйства.

Проблема накопления, изоляции и хранения радиоактивных отходов (РАО) в странах, вырабатывающих атомную энергию, приобрела большие масштабы, представляя угрозу территориям и проживающему на них населению. Хранилища РАО, приповерхностные и подземные, построены во многих странах: CIGEO (Франция), Форстмарк (Швеция), Онкало (Финляндия), Батапати (Венгрия), Конрад (Германия), Хенфорд (США), и других. В Российской Федерации силами Госкорпорации «Росатом» реализуется федеральная целевая программа «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2035 года», направленная на создание современных, инновационных объектов инфраструктуры по переработке РАО и строительству пунктов захоронения радиоактивных отходов (ПЗРО).

В соответствии с Федеральным законом РФ от 11.07.2011 № 190-ФЗ, под пунктом приповерхностного захоронения радиоактивных отходов (ППЗРО), для размещения твердых РАО,

классов 3 и 4, по классификации, утвержденной Постановлением Правительства от 19.10.2012 № 1069, понимается пункт захоронения, включающий в себя сооружение, размещенное на одном уровне с поверхностью земли или на глубине до 100 м от поверхности. Первый пункт приповерхностного захоронения РАО с применением передовых технических решений построен в г. Новоуральске Свердловской области.

ППЗРО, представляющие собой частично заглубленные железобетонные хранилища - модульные сооружения, заполненные металлическими либо железобетонными контейнерами с РАО, подвержены разрушению из-за внутренней деградации и внешнего воздействия поверхностных и подземных вод, проникающих к несущим и изолирующим конструкциям.

В результате химического взаимодействия солей, содержащихся в грунтовых водах, с цементными матрицами и заполнителями, элементами конструкций, в течение геологически значимого периода времени (сотни и тысячи лет) происходит выщелачивание бетона, связующих звеньев материала контейнеров, стен, оснований и покрытий модульных сооружений ППЗРО.

Для обеспечения длительного экологически безопасного хранения РАО в пунктах приповерхностного захоронения необходимо обосновать параметры и разработать проекты горнотехнических сооружений, обладающих повышенными изолирующими свойствами, устойчивыми во времени, параметры имеющихся бетонов явно недостаточны.

В этой связи разработка научно-методической базы обоснования проектных решений технологии строительства пунктов приповерхностного захоронения радиоактивных отходов с учетом использования инновационных конструктивных материалов и высокоэффективных барьеров безопасности, обеспечивающих долговременную изоляцию радиоактивных отходов 3 и 4 классов является весьма актуальной проблемой, имеющей важное значение в научном, практическом и экологическом аспектах, имеет непосредственную связь с федеральной целевой программой, планами Госкорпорации «Росатом» и народного хозяйства.

2. Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Новизна выполненных исследований состоит в развитии методологии выбора и комплексного обоснования проектных решений в технологии строительства пунктов приповерхностного захоронения радиоактивных отходов с разработкой концепции, научно-методических принципов ее реализации, с использованием новых конструктивных материалов и проектных решений при создании высокоэффективных барьеров безопасности на основе шпунтовых конструкций и композитных материалов. Они позволяют сформировать адаптационные способности к созданию механизма надежной защиты от ионизирующего излучения радиоактивных веществ и их негативного воздействия на население и окружающую среду.

Степень обоснованности научных положений определяется разработанными автором методическими аспектами совершенствования и развития методологии выбора и комплексного обоснования проектных решений технологии строительства пунктов приповерхностного захоронения радиоактивных отходов с учетом инновационной составляющей, базирующейся на совокупности предложенных автором новых научно-методических принципов, теоретических аспектах и механизмах использования новых конструктивных материалов и создания высокоэффективных барьеров безопасности.

Автором заявлена концепция поэтапного проектирования технологии строительства пунктов приповерхностного захоронения радиоактивных отходов, которая должна базироваться на совокупности методов и моделей, их использование позволяет достигнуть прямо пропорционального увеличения изоляционных возможностей модульного сооружения:

породах, сертифицированного, поверенного оборудования; необходимым и достаточным количеством проведенных испытаний; статистической обработкой, сопоставимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований и непротиворечием их известным теориям геомеханики, практике ведения горных работ, воспроизводимостью результатов экспериментов, технологии возведения модульных сооружений, обеспечением долговременной безопасности пунктов приповерхностного захоронения РАО.

6. Общая оценка и замечания по диссертационной работе

Диссертационная работа изложена четким и грамотным языком с использованием общепринятой научной терминологии. Стил ь изложения научных положений, методических разработок, результатов исследований и соответствующих рекомендаций по их практической значимости и реализации может быть объективно квалифицирован как научный. Выводы, научные положения, утверждения и заключения аргументированы достаточно убедительно, обоснованы, достоверны и надежны.

Соответствие автореферата содержанию диссертации. Автореферат диссертации соответствует её содержанию.

Основным достоинством представленной диссертации является достаточно объемный набор современных методов исследований и последних достижений цифровых информационных технологий с широкой гаммой их использования в рамках рассматриваемой проблемы, грамотную и объективную интерпретацию результатов исследований.

Наряду с этим следует отметить недостатки в виде следующих замечаний:

1. Материалы главы 2 перегружены данными лабораторных испытаний, которые сложно отследить, необходимое количество экспериментов определяется исходя из того, какая точность расчетов требуется в данном исследовании.

2. Основные результаты лабораторных испытаний вынесены в Приложения, что усложняет проработку материала исследований.

3. Пояснительные рисунки и чертежи, касающиеся модульных сооружений, приведены в ограниченном объеме,

4. В главе 3 рассмотрено использование только стеклопластика и углепластика для изготовления трубошпунтов, не рассмотрены варианты использования иных композитов.

5. При геофильтрационном и геомиграционном моделировании выхода радионуклидов йода I-129 из модульных сооружений не учтено, что движение радионуклидов будет в более затруднительных условиях, т.к. в грунтах идет процесс испарения воды, объем испарившейся воды достигает 40% от поступившей с атмосферными осадками.

Сделанные замечания не снижают научной и прикладной ценности диссертации.

7. Заключение

В целом следует отметить, что выполненная диссертационная работа на тему «Разработка научно-методической базы обоснования проектных решений технологии строительства пунктов приповерхностного захоронения радиоактивных отходов с учетом использования инновационных конструктивных материалов и высокоэффективных барьеров безопасности» является законченным научным исследованием, научные положения соответствуют паспорту специальности 2.8.7 - «Теоретические основы проектирования горнотехнических систем», научные результаты работы соответствуют критериям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском технологическом университете «МИСиС», а ее автор, Бамборин Михаил Юрьевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук за решение крупной научно-технической проблемы, заключающейся в развитии методологии комплексного обоснования стратегии возведения пунктов финальной изоляции РАО с

проектирования надежной изоляции РАО от проникновения подземных вод, выхода радионуклидов в грунты, долговременной безопасности модульных сооружений и контейнеров с РАО. Формирование высоких прочностных, противofiltrационных свойств и характеристик струйной цементации достигается за счет оптимизации водоцементного отношения $V/C=0,7$, оптимального диаметра колонн = 0,8м, подбора эффективной скорости подачи раствора в грунтовый массив (100л/мин), что замедляет выход долгоживущих малосорбируемых радионуклидов из модульного сооружения ППЗРО в подстилающие породы на 1,1 тысячи лет.

Сопоставление полученных результатов с уровнем современной науки.

Предложенные автором диссертации решения аргументированы получением бетонов с более высокими технико-технологическими характеристиками, внедрением технологий трубошпунтовой и грунтоцементной противofiltrационных завес на ряде промышленных предприятий, что является новым вкладом в современную науку тем, что дает методологическую основу для обеспечения долговременной безопасности возводимых объектов финальной изоляции радиоактивных отходов. Это подтверждено эффективным использованием результатов работы на ряде предприятий.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы.

Результаты работы автора использованы в ООО «СК «ИнжПроектСтрой» в рабочей документации по укреплению оснований фундаментов; в АО «Гиредмет» в рабочей документации в части технологии устройства противofiltrационной (противооползневой) завесы; в ФГУП «НО РАО» в эксплуатационной документации; в ООО «ИнТехПром» в технологическом процессе производства пластификаторов в бетон; в ООО «Семикс» в технологическом регламенте производств бетонных смесей; в ООО «Фундаментстрой» в рабочей документации в части технологии устройства шпунтового ограждения; в ФГБУ «Гидроспецгеология» в части сбора и анализа материалов для цифровой гидрогеологической модели.

Результаты работы М.Ю. Бамборина могут быть использованы в организациях, занимающихся комплексным проектированием для горнодобывающих предприятий, объектов обращения с радиоактивными отходами, таких как: АО «Гипроцветмет», АО «ПНИИС», АО «47 ЦПИИ», АО «ВНИПИпромтехнологии» и др., в научно-производственных компаниях, специализирующихся на разработке горнохимического сырья и строительстве подземных сооружений: АО «Пигмент», ООО «УралЭнергоРесурс», ООО «Анкерные Системы» и др. Кроме того результаты работ могут быть востребованы в организациях, оказывающих услуги, нацеленные на ликвидацию химически опасных объектов, объектов накопленного вреда окружающей среде.

4. **Личное участие автора в получении научных достижений состоит в:** постановке цели и задач исследований; непосредственном проведении лабораторных исследований, организации и выполнении опытов, отборе и подготовке образцов, проб проектируемых бетонов и специальных добавок к испытаниям, разработке технологии возведения дополнительных инженерных барьеров безопасности из шпунтовых и грунтоцементных завес, расчёте вертикальной и горизонтальной противofiltrационных завес, расчетах вариантов опасных сценариев аварийных ситуаций с помощью математического аппарата комбинаторики, статистической обработке полученных результатов; разработке технологической документации, организации и выполнении моделирования геофилтрационных и геомиграционных процессов.

5. **Достоверность выводов и результатов работы подтверждается:** корректностью постановки цели и задач исследований; надежностью и представительностью исходных данных; применением государственных стандартов, использованием современных методов геофилтрационного и геомиграционного моделирования распространения РАО во вмещающих

позволяет выявить необходимые проектные мероприятия, обеспечивающие перевод геотехнологической структуры в новое, более эффективное состояние, его стабилизацию и прогноз его жизненного цикла на краткосрочную и долгосрочную перспективу с одновременным снижением рисков, присущих вариантам развития аварийных ситуаций при различных вероятностях их реализации.

Значимость для производства полученных результатов обусловлена реальной возможностью повысить эффективность реализации проектных решений технологии строительства пунктов приповерхностного захоронения радиоактивных отходов на базе совершенствования методологии, методик и алгоритмического обеспечения формирования проектных производственных процедур и правил, что позволяет обеспечить их нормативную долговременную изоляцию на основе использования высокопрочных бетонов со специальными добавками, трубошпунтовой и грунтоцементной противифльтрационных завес во вмещающих породах со снижением уровня ионизирующего излучения и локализацией распространения радиоактивных веществ на прилегающих территориях.

В работе установлено, что максимальный проектный срок полного коррозионного разрушения в сульфатных средах (раствор Na_2SO_4 с концентрацией ионов SO_4^{2-} , 500 мг/л) бетона на основе цемента ЦЕМІ52,5Н+(КГВН) – (песок карьерный, щебень гранитный, вода, с добавкой (1)) составляет 628 лет, бетона на основе ЦЕМІ52,5Н+(КГВП) – (песок карьерный, щебень гранитный, вода, с добавкой (2)) составляет 1013 лет. Применение крупнозернистого гранитного наполнителя с добавкой (2) позволяет увеличить нормативную прочность на сжатие бетона на 100-120% на 28 суток относительно аналогичных составов с добавлением крупнозернистого известнякового наполнителя; применение ЦЕМІ52,5Н+(КГВН), ЦЕМІ52,5Н+(КГВП) обеспечивает максимальный срок проектной эксплуатации бетонных конструкций в сложных геологических и климатических условиях региона размещения пунктов захоронения.

В результате проведения исследований выявлено, что разработанные проектные решения в целях повышения уровня промышленно-экологической безопасности должны предусматривать переход от бетона класса В30 ($\rho=2,389 \text{ т/м}^3$, $\sigma_{\text{сж}}=43,4 \text{ МПа}$, W6, F300) на класс В70 ($\rho=2,485 \text{ т/м}^3$, $\sigma_{\text{сж}}=94,1 \text{ МПа}$, W20, F600), полученный путем применения суперпластификаторов, который позволяет эффективно изменять конструктивные параметры горнотехнических систем (толщина несущих стен уменьшается обратно пропорционально прочности бетона на сжатие, т.е. в 2,17 раза). При исходной толщине стен 800 мм и переходе на бетон В70 для поддержания веса перекрытия и покрывающего экрана достаточна толщина стен в 369 мм, с повышением водонепроницаемости до W20, морозостойкости до F600 и сульфатостойкости. Параметры бетонного днища модульного сооружения зависят от плотности и водонепроницаемости бетона; при использовании бетона класса В30, ($\rho=2,39 \text{ т/м}^3$, W6), толщина днища в проекте 1000 мм. При переходе на использование бетона класса В70 ($\rho=2,48 \text{ т/м}^3$, W20) толщина днища может быть уменьшена, обратно пропорционально увеличению плотности, до 960 мм, с повышением водонепроницаемости до W20, морозостойкости до F600 и сульфатостойкости.

С использованием геофильтрационного и геомиграционного моделирования установлено, что технологические свойства трубошпунтов находятся в степенной зависимости от материала шпунта, поперечной силы, деформативности, изгибающего момента, глубины погружения; это позволяет выбрать эффективные параметры трубошпунтовой завесы и усиливающего анкера, обеспечить надежную противифльтрационную защиту, дополнительную изоляцию модульных сооружений от латеральных грунтовых вод, а вмещающей среды - от воздействия радионуклидов. С учетом этого обоснованы рациональные конструктивные параметры грунтоцементной плиты в основании модульного сооружения ППЗРО с использованием струйной цементации, для

водонепроницаемости, морозостойкости и сульфатостойкости проектируемого бетона. Применение добавки (1) от 1,1% до 1,4% от массы цемента позволяет получить бетон классов В7,5 - В40 с показателями морозостойкости от F50 до F300, водонепроницаемости от W0 до W12; применение добавки (2) в объеме 0,4%-0,6% позволяет получить бетон классов В30-В70 с показателями морозостойкости от F300 до F600, водонепроницаемости от W8 до W20, что может увеличить максимальный срок коррозионного разрушения в сульфатной среде до 500-1000 лет, что укладывается в рамки требуемой надежности проектных решений.

Предложено адаптацию перехода к реализации проектной технологической платформы строительства пунктов приповерхностного захоронения радиоактивных отходов рассматривать и реализовывать с использованием разработанной процедуры, предусматривающей оптимизацию параметров проектной технологии струйной цементации, что обеспечивает получение высоких прочностных, изоляционных характеристик плиты из колонн грунтоцементной завесы под основанием модульных сооружений.

В работе установлено: конечным элементом методологии выбора и комплексного обоснования проектных решений технологии строительства пунктов приповерхностного захоронения радиоактивных отходов является переход ее составляющих из области обоснования правил в область управления ими за счет формирования оценочной процедуры риска реализации подобных проектов, методов, позволяющих сопоставлять опасные сочетания аварийных событий по выходу барьеров безопасности из строя, приводящие к раннему проникновению радионуклидов в грунты, с привлечением метода комбинаторики и моделированием сценариев аварийных ситуаций.

Новизна полученных результатов. В условиях усиления требований в области обеспечения экологической безопасности в работе актуализируются стратегические направления проектирования технологии строительства пунктов приповерхностного захоронения радиоактивных отходов, которые в настоящий период недропользования должны быть строго увязаны с использованием конструктивных материалов на основе суперпластифицирующих добавок – нафталинсульфанатов (1) и поликарбоксилатов (2), улучшающих адсорбцию частиц цемента на границе фаз цемент-вода, диспергирование частиц цемента, что обеспечивает получение полной номенклатуры марок бетонов от В7,5 до В70, увеличивает сроки долговременной изоляции пунктов захоронения РАО.

При этом усиливается процесс водоредукции в стабилизации изолирующей коллоидной системы бетона, повышается количество сырьевых наполнителей, что приводит к увеличению проектной плотности бетона прямо пропорционально увеличению их дозировки; при добавке нафталиносульфанатов в объеме 1,1-1,3% от массы цемента плотность бетона достигает 2456 кг/м³, снижаются В/Ц с 1,0 до 0,45 и водопоглощение с 14,8 до 3,44%; при добавке поликарбоксилатов в объеме 0,4-0,5% плотность бетона возрастает до 2485 кг/м³, снижаются В/Ц с 0,49 до 0,33 и водопоглощение с 6,5 до 0,97%.

3. Значимость для науки и производства полученных автором диссертации результатов, сопоставление полученных результатов с уровнем современной науки.

Значимость для науки полученных результатов состоит в том, что в работе впервые предложена методология выбора и комплексного обоснования проектных решений технологии строительства пунктов приповерхностного захоронения радиоактивных отходов с учетом использования инновационных конструктивных материалов, которая также базируется на научно-методических принципах реализации проектных решений в области создания высокоэффективных барьеров безопасности на основе проектных технологических решений с использованием шпунтовых конструкций. При этом требуемые конструктивные параметры шпунтового ограждения изолируемых модульных сооружений достигаются использованием облегченных трубошпунтов из композиционных материалов, в комбинации с технологией создания колонн струйной цементации в сочетании с композитными укрепляющими анкерами, что обеспечивает долговременную надежную защиту контейнеров с радиоактивными отходами от латеральных грунтовых вод, а вмещающей среды - от воздействия радионуклидов. Данная составляющая

обеспечением долговременной изоляции радионуклидов с помощью разработанных барьеров безопасности, снижающих риск выхода радиационно опасных веществ в открытую среду.

Отзыв ведущей организации рассмотрен и утвержден единогласно на заседании кафедры Разработки месторождений полезных ископаемых, протокол заседания № 2 от «14» октября 2024

Директор института горного дела и транспорта
Доктор технических наук
Тел./факс +7 (3519) 29-85-56
e-mail: Pytalev_Ivan@mail.ru

 И.А. Пыталев

Отзыв составил:

Пыталев Иван Алексеевич - Доктор технических наук, Директор института горного дела и транспорта

Пыталев Иван Алексеевич согласен на обработку персональных данных
Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»)

Адрес: 455000, Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38

телефон: +7 (3519) 29-84-02

E-mail: mgtu@magtu.ru

<https://magtu.ru/>

