

На правах рукописи



СОБКАЛОВ ФЁДОР ПЕТРОВИЧ

**СОЗДАНИЕ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ СПОСОБОМ «СТЕНА В ГРУНТЕ»
С КОМПЛЕКСНЫМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
МЕСТНЫХ ПОЛИМИНЕРАЛЬНЫХ ГЛИН**

Специальность: 2.1.6 – «Гидротехническое строительство,
гидравлика и инженерная гидрология»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2023

Работа выполнена в Акционерном обществе «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники имени Б.Е. Веденеева» (АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»)

Научный руководитель:

Сольский Станислав Викторович

доктор технических наук, главный научный сотрудник лаборатории «Фильтрационные исследования им. акад. Н.Н. Павловского» отдела «Основания, грунтовые и подземные сооружения» Акционерного общества «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники имени Б.Е. Веденеева»

Официальные оппоненты:

Саинов Михаил Петрович

доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», профессор кафедры гидравлики и гидротехнического строительства

Осокин Анатолий Иванович

кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», заведующий кафедрой геотехники

Ведущая организация:

ФГБОУ ВО «ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова»

Защита диссертации состоится «__» _____ 2023 г. в __ часов на заседании диссертационного совета **72.1.003.01** на базе Акционерного общества «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники имени Б.Е. Веденеева» по адресу: 195220, Санкт-Петербург, ул. Гжатская, 21.

E-mail: ivanovaty@vniig.ru, тел. +7 (812) 493-93-63.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» и на сайте общества: www.vniig.ru.

Автореферат разослан «__» _____ 2023 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
канд. техн. наук, ст. науч. сотр.

Иванова Татьяна Викторовна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. На протяжении всей истории использования способа «стена в грунте» в гидротехническом строительстве он зарекомендовал себя в создании надежных противофильтрационных элементов и сооружений инженерной защиты: в теле грунтовых плотин и их основаниях; в дамбах обвалования водохранилищ ГЭС, ГАЭС и каналов для снижения потерь воды и предотвращения подтопления территорий; в дамбах обвалования отстойников и накопителей промышленных отходов для обеспечения их устойчивости и для защиты поверхностных и подземных вод от загрязнения.

Особая роль в технологии создания противофильтрационных завес (ПФЗ) способом «стена в грунте» отводится тиксотропным растворам (ТР), которые в современной строительной практике в подавляющем большинстве случаев приготавливаются из дорогостоящих бентонитовых глин.

Эта роль заключается в: удержании стенок траншеи от обрушения при ее проходке; обеспечении бесперебойной работы траншеепроходческих машин и вспомогательного оборудования; создании на стенках траншеи глинистой корки, повышающей противофильтрационные показатели ПФЗ.

Использование бентонитовых глин обосновано с технико-экономической точки зрения при освоении подземного пространства городов, в условиях тесной городской застройки - при создании подземных паркингов, торговых центров, станций метро. Однако для создания ПФЗ большой протяженности (более 1 км), где требуются большие объемы глинистого сырья, использование дорогостоящих бентонитовых глин становится ключевой проблемой. С одной стороны, на таких объектах без ТР невозможно осуществить технологический процесс создания траншейной стенки, с другой стороны - использование дорогостоящих бентонитовых глин значительно повышает стоимость строительства способом «стена в грунте» и, как следствие, снижает его конкурентоспособность и сужает область его использования в гидротехническом строительстве.

В данной работе автором предлагается решить указанную проблему путем комплексного внедрения в технологию строительства ПФЗ способом «стена в грунте» местных полиминеральных глин (МПП), которые до сих пор не были востребованы в качестве сырья для приготовления ТР, взамен дорогостоящих бентонитовых глин.

Особую актуальность решение этой задачи для строительной отрасли Российской Федерации приобретает в настоящее время, когда отечественная экономика переориентировалась на внутренний рынок. С учетом изменения и переориентации логистических цепочек, вызванных внешними обстоятельствами, России, где запасы бентонитовых глин составляют порядка 3,5% от мировых, предстоит наращивать темпы разработки собственных месторождений для развития народного хозяйства. В этих условиях особую актуальность приобретает оптимизация применения высококачественного и дефицитного бентонита и его замена более дешевыми строительными материалами.

Отечественный опыт замены бентонитовых глин местными полиминеральными глинами в технологии строительства ПФЗ способом «стена в грунте» впервые был получен во второй половине XX века в ходе опытно-производственных работ на строительной площадке Чурубай-Нурина гидроузла. Однако приобретенный положительный опыт не получил дальнейшего развития в строительной практике из-за отсутствия профильного норматива, регламентирующего комплексное использование МПП в создании ПФЗ способом «стена в грунте»; вследствие недостаточной проработанности конструктивно-технологических решений по строительству ПФЗ большой протяженности способом «стена в грунте» с учетом комплексного внедрения в технологию больших объемов МПП.

В связи с изложенным решение данных задач представляется **актуальным**.

Степень разработанности темы исследования. Изучением и конструированием ПФЭ в гидротехническом строительстве, возводимых способом «стена в грунте», занимались многие отечественные ученые: Л.Н. Рассказов, П.Ф. Собкалов, В.Г. Радченко, С.В. Сольский, М.П. Саинов, А.И. Осокин, Р.Н. Орищук, В.М. Королев, Э.С. Аргал, А.В. Радзинский, М.Г. Лопатина, М.А. Колосов, В.И. Федосеев, В.Г. Бардюков, В.И. Изотов, М.И. Смородинов, Б.С. Федоров, К.А. Логинов и другие.

Ведущие организации в этой области: АО «Ленгидропроект», АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», Научно-исследовательский институт оснований и подземных сооружений им. Н.М. Герсеванова (НИИОСП), ФГБОУ ВО «Московский государственный строительный университет», ООО «Гидроспецпроект», ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет».

Цель работы: Экспериментально-теоретическое обоснование внедрения в технологию строительства гидротехнических сооружений и сооружений инженерной защиты способом «стена в грунте» широко распространенных местных полиминеральных глин, разработка рекомендаций и технических решений по их использованию в гидротехническом строительстве.

Задачи исследований заключаются в следующем:

1. Анализ использования способа «стена в грунте» и направлений повышения его конкурентоспособности в проектировании и строительстве гидротехнических сооружений и сооружений инженерной защиты.

2. Расширение области применения способа «стена в грунте» за счет введения в методику проектирования траншейных противодиффузионных завес новых критериев оценки качества МПГ, используемых взамен бентонитовых глин при проходке траншеи и заполнении ее противодиффузионным материалом.

3. Разработка методических рекомендаций по технико-экономическому обоснованию использования МПГ в строительстве протяженных противодиффузионных завес, выполняемых способом «стена в грунте».

4. Лабораторные исследования эксплуатационных параметров ТР и ПФМ, приготовленных на основе МПГ, и оценка их влияния на технологический процесс создания ПФЗ способом «стена в грунте». Классификация способов управления технологическими характеристиками ТР и ПФМ для обеспечения непрерывности технологического цикла создания ПФЗ способом «стена в грунте».

5. Разработка методики комплексного использования МПГ в технологии строительства противодиффузионных завес, выполняемых способом «стена в грунте».

6. Совершенствование технологии производства работ по созданию противодиффузионных конструкций гидротехнических сооружений способом «стена в грунте» с использованием местных полиминеральных глин.

Научная новизна работы

1. Разработана технология создания способом «стена в грунте» противодиффузионных завес большой протяженности, основанная на инновационных технических решениях, защищенных патентами, и на едином технологическом цикле с учетом комплексного использования МПГ для приготовления двух разных по свойствам и назначению материалов - ТР и ПФМ.

2. Предложена новая, не требующая предварительных лабораторных исследований аналитическая методика оценки качества МПГ и их пригодности для внедрения в технологию строительства ПФЗ способом «стена в грунте». Методика основана на анализе паспортных данных МПГ карьеров и позволяет оценить:

- возможность использования МПГ взамен бентонитовых глин на этапах проходки траншеи и заполнения ее противодиффузионным материалом;

- достаточность объемов МПГ требуемого качества для нужд строительства;

- предварительные объемы работ по кондиционированию ТР и ПФМ, приготовленных на основе МПГ.

3. Разработана методика комплексного внедрения МПГ в технологию создания ПФЗ способом «стена в грунте» - в качестве основы для приготовления ТР и ПФМ. Использование методики позволит повысить эффективность и конкурентоспособность строительства сооружений инженерной защиты (ПФЗ), выполняемых способом «стена в грунте».

Теоретическую и практическую значимость работы составляют:

1. Новая методика комплексного использования МПГ в технологии создания ПФЗ, внедрение которой позволит расширить область применения способа «стена в грунте» в гидротехническом строительстве.

2. Новая технологическая схема создания ПФЗ способом «стена в грунте», основанная на использовании МПГ взамен дорогостоящих бентонитовых глин на первом этапе (проходка траншеи под защитой ТР) и на втором этапе (заполнение траншеи ПФМ) технологического процесса.

3. Разработанные новые конструктивные решения и технология проходки траншей под защитой ТР из МПГ для создания противодиффузионных завес большой протяженности, сооружаемых на площадках со сложным рельефом.

4. Разработанные методические рекомендации по оценке качества МПГ и их пригодности для использования в строительстве противодиффузионных завес, эффективность применения которых обоснована результатами лабораторных исследований.

5. Результаты исследований влияния параметров ТР и ПФМ, приготовленных на основе МПГ, на технологический процесс создания противодиффузионных завес способом «стена в грунте» для инженерно-экологической защиты.

6. На основе ключевых положений методики комплексного использования МПГ в технологии создания ПФЗ разработаны предложения по внесению изменений в профильные нормативные документы, регламентирующие применение способа «стена в грунте» в гидротехническом строительстве.

Методология и методы исследования. Для решения поставленных задач использовались: методы планирования эксперимента; методика отбора проб местных полиминеральных глин для приготовления тиксотропных растворов; методика проведения лабораторных испытаний и исследований технологических характеристик глинистых растворов; геофильтрационное моделирование участка строительства противодиффузионной завесы; статистические методы анализа полученных экспериментальных данных.

Положения, выносимые на защиту

1. Методика комплексного использования МПГ (взамен бентонитовых глин) в технологии строительства ПФЗ способом «стена в грунте» с обеспечением качества и надежности сооружения и с высоким технико-экономическим эффектом. Методика включает в себя:

- новые критерии оценки качества (физико-механические характеристики, гранулометрический состав, химико-минералогический состав) МПГ;
- алгоритм оценки качества МПГ и обоснования их комплексного использования в технологическом процессе;
- рекомендации по выбору эффективных способов повышения качества ТР и ПФМ, приготовленных на основе выбранных МПГ;
- рекомендации по выбору оборудования для растворного узла и для площадки подготовки ПФМ.

2. Разработанная на основе методики комплексного использования МПГ технология создания ПФЗ способом «стена в грунте», обеспечивающая:

- сокращение сроков и стоимости строительства;
- качество эксплуатационных характеристик ПФЗ за счет организации работ по единому технологическому циклу приготовления из МПГ одного карьера качественных ТР (для обеспечения проходки траншеи) и материала-заполнителя траншеи (ПФМ).

3. Новые конструктивно-технологические решения (каскадный способ создания ПФЗ, конструкция форшахты многоразового использования и способ создания водонепроницаемого сопряжения ПФЗ, сооружаемых на площадке с разновысокими отметками) для строительства противофильтрационных завес большой протяженности. Запатентованные конструктивно-технологические решения позволят:

- повысить технологичность и качество производства работ способом «стена в грунте» на территориях со сложным рельефом;

- значительно снизить объемы работ по вертикальной планировке трассы ПФЗ.

Степень достоверности экспериментальных исследований подтверждается использованием поверенных приборов и оборудования, стандартизированных методик проведения экспериментов и обработки полученных данных, а также удовлетворительной сходимостью полученных результатов лабораторных исследований с данными полевых экспериментов, полученными на опытно-производственных участках объектов ГТС. Численное моделирование проводилось с использованием лицензионных программных комплексов (Modflow).

Личный вклад. Выполнен обзор литературы с целью изучения современного состояния вопроса применения способа «стена в грунте» в создании противофильтрационных конструкций гидротехнических сооружений. Выполнена постановка задач исследования. Для проведения лабораторных исследований автором разработаны программы экспериментов и лично проведены все этапы экспериментов. Анализ результатов лабораторных экспериментов, подготовка заключений и выводов по результатам работ выполнены автором лично.

На основе анализа результатов лабораторных работ автором разработана методика комплексного использования МПГ Преображенского месторождения для сооружения ПФЗ вокруг накопителей и шламохранилищ опасных химических отходов, а также разработаны рекомендации по внедрению МПГ взамен бентонитовых глин в технологию создания ПФЗ способом «стена в грунте».

При выполнении численного моделирования автором была предложена и выполнена постановка задачи, определены начальные и граничные условия эксперимента. Анализ результатов численного моделирования и формулирование выводов выполнены автором лично.

Внедрение результатов. Результаты исследований автора использованы в проекте «Рекультивация территории бывшего ОАО «Средневожский завод химикатов» г. Чапаевск», получившем положительные заключения Государственной экологической экспертизы и Главгосэкспертизы России. В рамках вышеуказанного проекта для создания протяженных ПФЗ автором на основе разработанной в диссертации методики комплексного использования МПГ были разработаны рецептуры ТР и ПФМ, отвечающие нормативным требованиям к их качеству.

На основании результатов диссертационного исследования в рамках двух НИОКР были разработаны предложения по внесению изменений: в п. 14.1.8 СП 45.13330.2017 «Земляные сооружения, основания и фундаменты»; в п. 4.14 и п. 6.1.4.4 СП 104.13330.2016 «Инженерная защита территории от затопления и подтопления» - в виде рекомендаций по применению местных полиминеральных глин (МПГ) для приготовления тиксотропных растворов и противофильтрационных материалов с целью возведения противофильтрационных элементов способом «стена в грунте», в частности для защиты территорий, зданий и сооружений от подтопления.

Разработанные автором технологические карты и схемы, а также конструктивные решения могут быть использованы проектными, строительными и эксплуатирующими организациями при строительстве протяженных противофильтрационных завес способом «стена в грунте».

Автором в соавторстве получено 2 авторских свидетельства на инновационные конструктивно-технологические решения.

Апробация результатов работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на VII, VIII, XI, XII, XIV научно-технических конференциях

«Гидроэнергетика. Новые разработки и технологии» (АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», СПб., 2012, 2014, 2017, 2018, 2022), на Молодежной научно-технической конференции «Наука и проектирование» (АО «Институт Гидропроект», Москва, 2016, Углич, 2017), на заседаниях Учёного совета АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» (2017, 2019, 2021, 2022), на заседании Секции «Основания, грунтовые и подземные сооружения» Учёного совета АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» (2019, 2020, 2022), на заседании Президиума научно-технического совета АО «НИЦ «Строительство» (2019), на Всероссийском научно-практическом семинаре «Современные проблемы гидравлики и гидротехнического строительства» (НИУ МГСУ, Москва, 2020), на Международной научно-практической конференции – «Гришанинские чтения – «Водные пути и русловые процессы. Гидротехнические сооружения водных путей» (ФГБОУВО «ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова», 2023).

Публикации. Научные результаты достаточно полно изложены в 7 научных публикациях, опубликованных в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук.

Структура и объем работы. Диссертационная работа содержит введение, четыре главы, заключение, список использованных источников и семь приложений. Объем работы - 179 страниц текста, который включает в себя 20 рисунков, 20 таблиц, библиографию с 168 наименованиями, в числе которых 21 наименование иностранной литературы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении отражена актуальность темы диссертации, поставлена цель и сформулированы основные задачи исследований, которые необходимо было решить для достижения заявленной цели, сформулирована научная новизна, теоретическая и практическая значимость, а также методы исследований и их достоверность, приведены результаты внедрения и апробации основных результатов диссертационной работы, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен обзор применения способа «стена в грунте» в создании противофильтрационных завес в гидротехническом строительстве, обобщены отечественный и зарубежный опыт возведения гидротехнических сооружений и сооружений инженерной защиты способом «стена в грунте».

Установлено, что активное развитие технологии во второй половине XX века было обусловлено повышением уровня технической вооруженности строительных организаций и появлением новых технических решений, которые позволили производить проходку скважин под защитой глинистого тиксотропного раствора (ТР) вместо обсадных труб.

При этом было выявлено, что в качестве сырья для приготовления ТР, под защитой которого осуществляется проходка траншей, неизменно с 1960-х гг. используются дорогостоящие бентонитовые глины, стоимость которых достигает до 35% от стоимости всего сооружения в целом.

Проведен анализ опубликованных в открытой печати исследований по проблемам проектирования и строительства ПФЗ способом «стена в грунте», разработан план исследований, поставлены и обоснованы задачи диссертационной работы, направленные на совершенствование технологии и на расширение области ее использования в строительстве гидротехнических сооружений и сооружений инженерно-экологической защиты.

Во второй главе определено направление совершенствования технологии строительства противофильтрационных завес, выполняемых способом «стена в грунте», в части использования новых строительных материалов. Дано обоснование внедрения в технологию взамен дорогостоящих бентонитовых глин местных полиминеральных глин, использование которых позволяет добиться большого технико-экономического эффекта, но сдерживается отсутствием отраслевого норматива, в котором должны быть указаны: условия наиболее рационального использования МПГ при сооружении ПФЗ; граничные условия внедрения МПГ в технологию создания ПФЗ способом «стена в грунте»; критерии оценки пригодности МПГ

для их использования взамен бентонитовых глин на основных технологических этапах создания траншейных ПФЗ способом «стена в грунте».

По результатам анализа паспортных данных 14 карьеров глин и глинистых грунтов, расположенных в Ленинградской области, были выделены основные показатели характеристик глинистых грунтов, которые имеют наибольшее влияние на их качество и пригодность для приготовления ТР и ПФМ (таблица 1).

Таблица 1 - Пример использования паспорта №1281 Чкаловского месторождения для оценки качества МПГ

Блок 1	Физико-механические характеристики	Единица измерения	Значение показателя	Нормативный показатель	Регламентирующие нормативные документы
Показатели характеристик 1-го блока	1.1.Пластичность	%	1,8-26,5	≥ 20%	СП45.13330.2017; ГОСТ 5180-2015; ГОСТ 25100-2020
	1.2.Влажность	%	16,3-27,5	Для ТР - 5±20% Для ПФМ - 5±25%	ГОСТ 30416-2020
Блок 2	Гранулометрический состав	Диаметр частиц, мм	Содержание, %	Нормативный показатель	Регламентирующие нормативные документы
Показатели характеристик 2-го блока	2.1. Глинистые частицы	0,001	25,0-46,9	≥ 40%	СП45.13330.2017; ГОСТ12536-2014
		0,005÷0,001	15,2-29,2		
	2.2.Пылеватая фракция	0,01÷0,005	21,6-53,1	≤ 30%	
	2.3. Крупные пылеватые фракции	0,05÷0,01	-	≤ 15%	ГОСТ 12536-2014
	2.4.Мелкозернистые пылеватые пески	0,1÷0,05	0,0-18,8		
2.5. Песок крупный	1÷0,5	-			
Блок 3	Химико-минералогический состав	Единица измерения	Значение показателя	Химсостав МПГ	Дополнительные критерии
Показатели характеристик 3-го блока	3.1. SiO_2	%	59,39-65,72	62,5	Повышенное содержание SiO_2 , Al_2O_3 является признаком наличия высокого процента содержания глинистой фракции 0,001÷0,005 мм в МПГ
	3.2. Al_2O_3	%	14,9-17,8	16,3	
	3.3. TiO_2	%	0,78-0,9	0,8	
	3.4. Fe_2O_3	%	6,09-8,04	7,06	
	3.5. CaO	%	0,14-1,18	0,66	
	3.6. MgO	%	2,12-2,62	2,37	
	3.7. K_2O	%	4,6-5,68	5,14	
	3.8. Na_2O	%	0,08-0,16	0,12	

Наиболее значимые показатели систематизированы в виде трех блоков критериев оценки качества МПГ: Блок 1 - физико-механические характеристики; Блок 2 - гранулометрический состав; Блок 3 - химико-минералогический состав.

Для каждого критерия оценки качества МПГ определены диапазоны нормативных значений с помощью действующих ГОСТ и СП. В таблице 1 представлена единая форма, в которую из паспорта карьера заносятся показатели характеристик изучаемых МПГ и по которой оценивается пригодность МПГ карьера для их использования в технологии «стена в грунте» в качестве сырья для приготовления ТР и ПФМ.

Для подтверждения прогнозной эффективности представленных критериев оценки качества МПГ по паспортным данным карьеров (таблица 1) были проведены лабораторные исследования глинистых растворов (по методике СП45.13330, на приборах лаборатории ЛГР-3), приготовленных на основе МПГ трех карьеров, расположенных в Ленинградской области - Чкаловское, Вагановское месторождения и месторождение Большие поля.

Результаты лабораторных исследований (таблица 2) подтвердили прогнозную эффективность предварительной оценки качества МПГ по выбранным критериям и позволили сделать следующие выводы:

- глинистые растворы, приготовленные на основе МПГ Чкаловского месторождения, не требуют химической обработки и могут комплексно использоваться для создания рецептур ТР и ПФМ;

- глинистые растворы Вагановского месторождения требуют дополнительной обработки химдобавками;

- МПГ месторождения Большие поля могут использоваться только в качестве сырья для приготовления ПФМ.

Важно отметить, что исходя из критериев оценки качества исходного сырья для приготовления ТР, изложенных в действующих профильных нормативах, глины всех трех месторождений являются пригодными только для приготовления ПФМ, но не ТР.

Красным цветом в таблице 2, в которой представлены результаты лабораторных исследований, выделены те показатели технологических параметров глинистых растворов, значения которых не соответствуют нормативным. На основе этих параметров для улучшения технологических параметров изучаемых глинистых растворов была выбрана наиболее эффективная химдобавка - карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ). Все без исключения показатели параметров ТР, приготовленных на основе глин Чкаловского и Вагановского месторождений, после обработки химдобавкой КМЦ были приведены к нормативным значениям.

На основе выбранных критериев оценки качества МПГ по паспортным данным карьеров и на основе результатов лабораторных исследований, подтвердивших эффективность выбранных критериев, была разработана аналитическая методика предварительной (не требующей лабораторных исследований) оценки качества МПГ. Эта методика открывает возможность комплексного внедрения МПГ (взамен бентонитовых глин) в технологию создания противofильтрационных завес способом «стена в грунте»: на первом этапе - в качестве сырья для приготовления ТР, под защитой которого осуществляется проходка траншеи; на втором этапе - в качестве противofильтрационного материала-заполнителя траншеи. Методика позволяет на стадии ТЭО оценить: возможность использования МПГ месторождения для приготовления на их основе ТР и ПФМ; достаточность объемов МПГ требуемого качества в рассматриваемом месторождении; предварительные объемы работ по кондиционированию ТР и ПФМ, приготовленных на основе МПГ.

Таблица 2 - Результаты исследования глинистых растворов, приготовленных на основе МПГ трех карьеров, расположенных в Ленобласти

№ п./п.	Наименование параметра	Нормативное значение параметра по СП45.13330	Глинистые растворы, приготовленные на основе МПГ трех месторождений при различной плотности, г/см ³									Глинистые растворы, приготовленные на основе МПГ трех месторождений, после химобработки 1% раствором КМЦ-400 при различной плотности, г/см ³						
			Чкаловская			Вагановская			Б. Поля			Чкаловская			Вагановская			Б. Поля
			1,15	1,20	1,25	1,15	1,20	1,25	1,20	1,25	1,25	1,15	1,20	1,25	1,15	1,20	1,25	1,20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	3'	4'	5'	6'	7'	8'	9'	10'	
1	Условная вязкость	18÷30 сек	18,9	20,9	23,9	14,6	18,4	20,3	16,8	18,3	19	24,7	30,0	18,9	26,8	28,4	17,3	24,1
2	Статическое напряжение сдвига	10÷50 мгс/см ²	10,1	31,7	34,0	9,7	18,6	33,3	4,6	10,8	5,6	19,9	44,6	11,9	22,8	36,8	7,5	11,2
3	Водоотдача за 30 мин	≤ 30 см ³	$\frac{37,7}{25}$	$\frac{31,5}{30}$	$\frac{29,8}{30}$	$\frac{32}{30}$	$\frac{18}{30}$	$\frac{19}{30}$	$\frac{30}{16}$	$\frac{30}{25}$	$\frac{31,8}{30}$	$\frac{25,5}{25}$	$\frac{29}{30}$	$\frac{29}{30}$	$\frac{16}{30}$	$\frac{14}{30}$	$\frac{30}{20}$	$\frac{30}{30}$
4	Толщина глинистой корки	≤ 4 мм	3,2	4,1	3,8	2,7	3,4	3,6	3,9	4,2	1,5	2,5	3,0	2,9	3,9	3,7	4,2	3,9
5	Суточный отстой	≤ 4%	5,3	3,8	3,4	5,5	4,0	3,9	4,1	4,4	1,8	0,5	1,2	0,5	0,8	0,0	3,7	4,1
6	Содержание песка	≤ 4%	2,1	2,9	3,1	4,1	4,5	4,7	4,3	4,8	2,6	2,8	3,2	2,7	3,2	3,5	4,5	4,6
7	Стабильность	≤ 0,02 г/см ³	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,07	0,04	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,0	0,06	0,03
	Наименование компонента	Единица измерения	Расход компонентов на 1 м ³ раствора															
1	Глина	кг	235	314	392	235	314	392	314	392	235	314	392	235	314	392	314	392
2	Вода	кг	912	882	824	912	882	824	882	824	912	882	824	912	882	824	882	824
3	Добавка КМЦ										2,4	3,14	3,92	2,35	3,14	3,92	3,14	3,92

В третьей главе приводится эффективный алгоритм предварительной (не требующей проведения лабораторных исследований) оценки качества МПГ (I блок на рисунке 1), на основе которого разработана методика комплексного использования МПГ в строительстве противофильтрационных завес способом «стена в грунте» (рисунок 1).

Под комплексным использованием МПГ понимается разработка рецептур двух разных по свойствам и назначению материалов - ТР и ПФМ, приготовленных из МПГ одного карьера.

Совершенствование технологии строительства противофильтрационных завес способом «стена в грунте» заключается в разработке методики комплексного использования местных полиминеральных глин, которая является первым положением, выносимым на защиту, и содержит три основных блока.

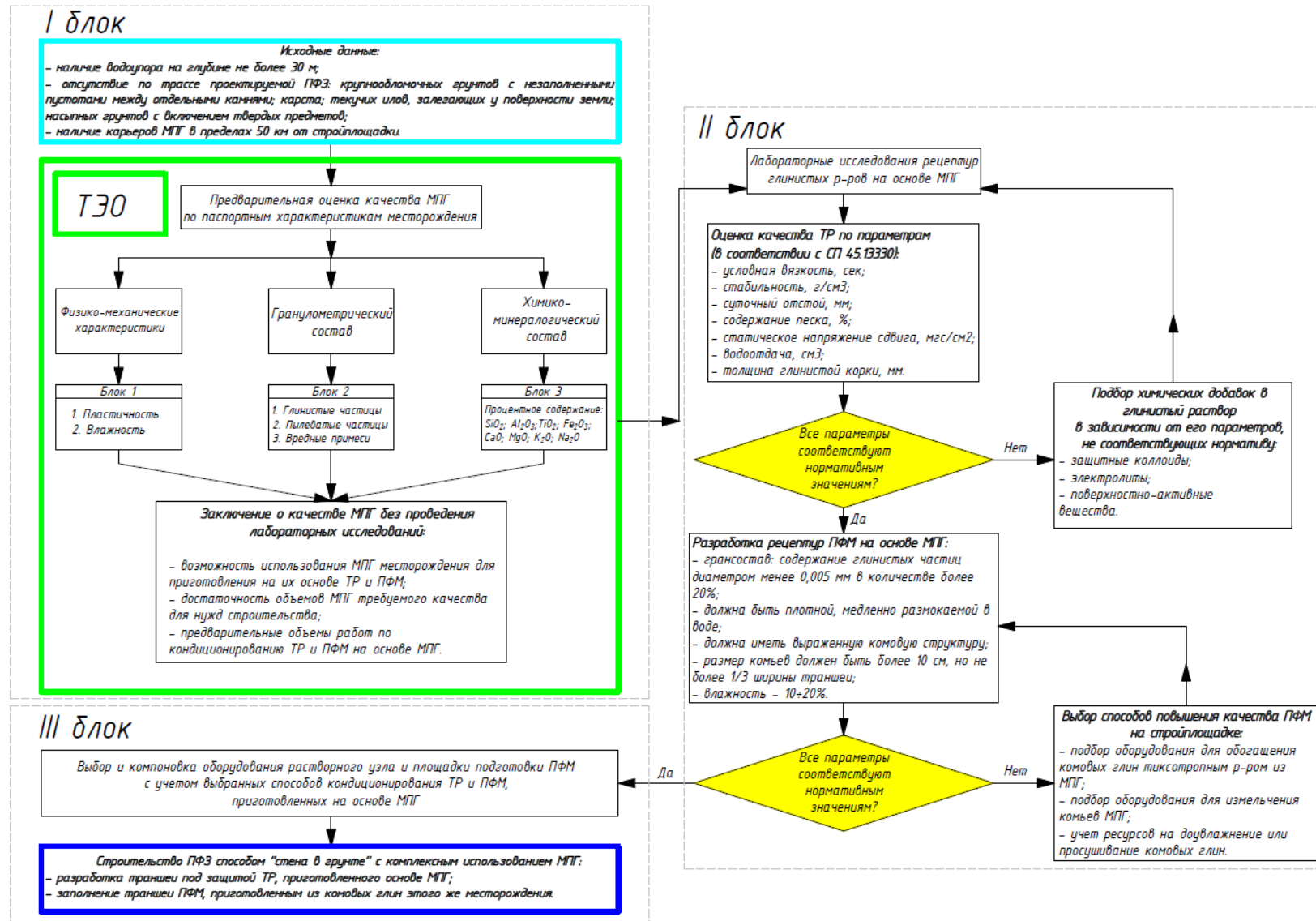


Рисунок 1 – Блок-схема технологии строительства противофильтрационных завес способом «стена в грунте», основанной на комплексном использовании местных полиминеральных глин

Первый блок позволяет на стадии ТЭО оценить не только пригодность МПГ для их использования в технологии, но и оценить: затраты на транспортировку сырья, на его обработку на стройплощадке, запасы глинистого сырья в карьере, объемы обработки глинистого сырья, а также выдать заключение о целесообразности использования глин изучаемого карьера в технологии создания ПФЗ способом «стена в грунте».

Второй блок методики (рисунок 1) - алгоритм проведения лабораторных исследований ТР и ПФМ, приготовленных на основе отобранных качественных МПГ, и подбора наиболее эффективных способов улучшения их технологических характеристик для обеспечения непрерывного технологического цикла создания ПФЗ способом «стена в грунте». Методика включает в себя классификацию способов обработки МПГ и ТР с целью улучшения их качества: гидратация – предварительное замачивание глин, в результате которого по истечении времени происходит самопроизвольная диспергация; механическая обработка – диспергация происходит вследствие соударения частиц; химический способ – наиболее эффективный для улучшения качества ТР, заключается во введении в раствор химических реагентов.

Третий блок методики (рисунок 1) содержит рекомендации по компоновке растворного узла и подбору оборудования для подготовки ПФМ с учетом результатов лабораторных исследований ТР и ПФМ и объемов их компонентов, используемых в технологическом процессе.

Разработан единый технологический цикл (рисунок 2) создания ПФЗ способом «стена в грунте», основанный на комплексном использовании МПГ и охватывающий приготовление ТР и его подачу - и в зону проходки траншеи, и на площадку подготовки ПФМ для его обогащения.

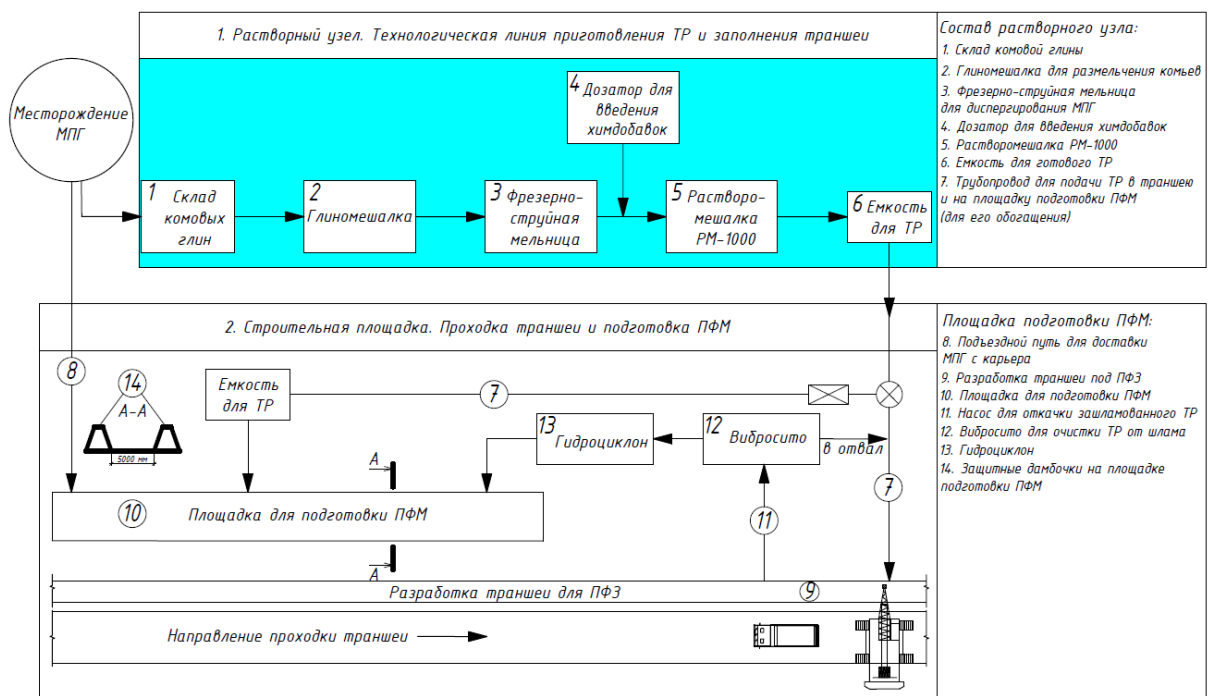


Рисунок 2 – Технологическая схема строительства противифльтрационной завесы способом «стена в грунте» на основе комплексного использования МПГ

Установлено, что наибольшего технико-экономического эффекта от применения технологии строительства ПФЗ способом «стена в грунте», основанной на комплексном использовании местных полиминеральных глин, можно добиться при соблюдении следующих условий: карьеры МПГ находятся на расстоянии в пределах 50 км от стройплощадки; при строительстве протяженных (длиной более 1 км) траншейных завес; при создании противифльтрационной защиты территорий, примыкающих к хвостохранилищам, золоотвалам

и другим видам накопителей промышленных отходов I-V классов опасности, а также при реабилитации (рекультивации) техногенно-нагруженных территорий.

В четвертой главе диссертационной работы представлены результаты апробации и внедрения разработанной технологии строительства ПФЗ способом «стена в грунте», основанной на комплексном использовании МПГ, в рамках разработки проекта рекультивации накопителей токсичных отходов (II класс опасности) на территории бывшего Средне-Волжского завода химикатов (СВЗХ) в г. Чапаевск Самарской области (рисунок 3).



Рисунок 3 – Схематический план территории бывшего Средне-Волжского завода химикатов (СВЗХ) в г. Чапаевск Самарской области

На первом этапе внедрения в результате комплекса опытно-фильтрационных работ и геофильтрационного моделирования участка работ в качестве водоупорного основания ПФЗ были выбраны верхнечетвертичные глины, залегающие на глубине от 7,0 м до 17,4 м вместо глин верхнего неогена, являющиеся качественным региональным водоупором мощностью свыше 10 м и залегающих на глубине 30 м (рекомендованы по данным архивных изысканий). За счет этого удалось резко сократить затраты на строительство инженерного барьера, замкнутого на верхнечетвертичные глины. Это, в свою очередь, открыло возможность использования методики комплексного использования МПГ при строительстве ПФЗ способом «стена в грунте» на этом объекте.

В результате реализации методики предварительной оценки качества МПГ по паспортным данным Преображенского месторождения, расположенного в 40 км от стройплощадки, была доказана пригодность глинистого сырья для приготовления на его основе ТР (таблица 3) и ПФМ (таблица 4).

Таблица 3 – Результаты исследования глинистых растворов на приборах ЛГР-3

№№ пп	№ образца	Параметры раствора (желтым выделены нормативные значения по СП 45.13330)							
		Плотность ρ , г/см ³	Вязкость Т, сек	Отстой О, %	Стаби льност ь С, г/см ³	Песок П, %	Водоотда ча В, см ³	Глиниста я корка К, мм	Статическое напряжение сдвига, мг/см ²
		1,0÷1,3	18÷50	≤ 4	≤ 0,03	≤ 4	≤ 30 за 30 мин	≤ 4	10÷50
1	№6	1,24	20	4	0,03	7	17	3	34,10
2		1,27	18	6	0,03	6	20	3	17,51
3		1,29	16	6	0,07	12	24	4	23,54
4		1,23	19	3	0,01	5	14	3	32,20
5		1,2	18	2	0,01	5	16	3	17,00
6	№4	1,24	16	30	0,3	10	33	5	7,00
7		1,20	17	50	0,2	14	36	4	3,00
8		1,25	17	12	0,07	10	-	6	14,00
		После обработки 0,5% раствором КМЦ							
9		1,25	45	1	0,01	11	5	1	17,00
10	1,25	30	1	0,02	11	5	1	7,00	

В результате были разработаны рецептуры ТР на основе качественной глины образца № 6, а рецептуры ПФМ были разработаны путем обогащения менее качественных глинистых грунтов карьера (образцы №№ 3, 4, 5) тиксотропным раствором в соотношении: 30% глины образца № 6 (из которой готовится глинистый раствор плотностью 1,35÷1,5 г/см³) и 70 % глинистого грунта одного из образцов №№ 3, 4, 5 (таблица 4).

Таблица 4 – Показатели коэффициента фильтрации глинистых грунтов Преображенского месторождения, полученных на фильтрационном стенде

№ п.п.	Характеристики образца			Напор, H	Градиент напора, I	Продолжительность фильтрации, T	Расход, Q	Коэф. фильтрации
	№ рецеп туры	l	S					
		см	см ²	см		сут	см ³ /сут	м/сут
1	1	2,25	25,4	67,5	30	3	6,3	$2,85 \cdot 10^{-5}$
2	1	2,25	25,4	45	20	3	4,3	$3,0 \cdot 10^{-5}$
3	2	2,25	25,4	67,5	30	5,8	5,0	$0,9 \cdot 10^{-5}$
4	3	2,25	25,4	67,5	30	7	4,5	$1,2 \cdot 10^{-5}$
5	2	2,25	25,4	45	20	7	4,5	$0,95 \cdot 10^{-5}$
6	3	2,25	25,4	45	20	7	4,2	$1,1 \cdot 10^{-5}$
7	2	2,25	25,4	120	50	2	3,1	$0,9 \cdot 10^{-5}$

На геофильтрационной модели участка работ доказана эффективность ПФЗ (рисунок 4), выполненной способом «стена в грунте» с помощью методики комплексного использования МПГ - фильтрационные потоки вблизи ПФЗ направлены вертикально вниз, что говорит о формировании фильтрационного потока от области питания (инфильтрация с земной поверхности) к области разгрузки (водоемы) через напорный водоносный горизонт. Эффективность устройства ПФЗ для защиты подземных и поверхностных вод от загрязнения

подтверждает тот факт, что по результатам моделирования участки ПФЗ не задействованы в фильтрационном потоке.

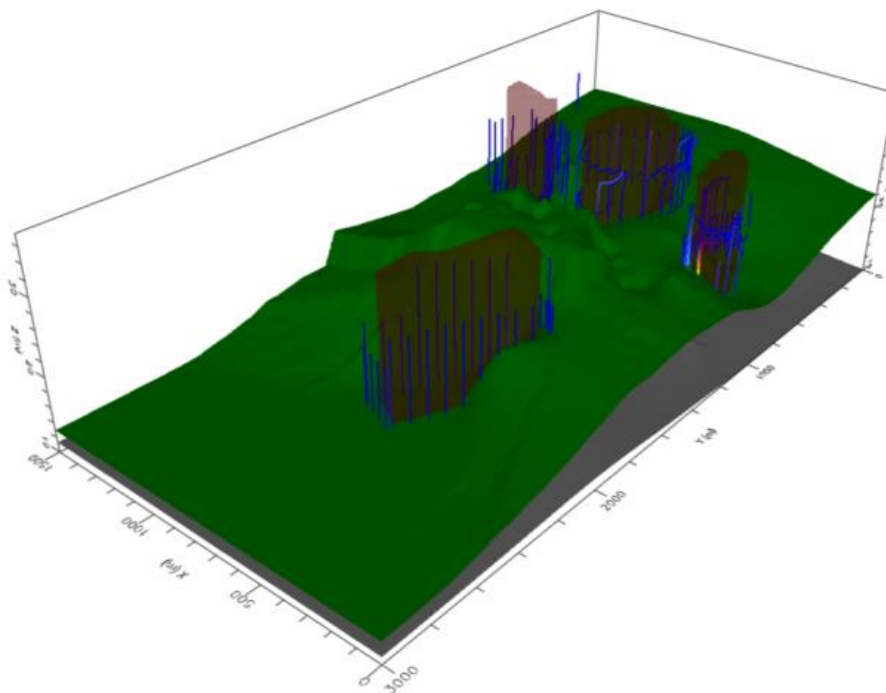


Рисунок 4 – Линии тока вблизи противофильтрационных сооружений на численной модели (линии тока показаны синим)

Результатом возведения ПФЗ является снижение водопритока (в строительный период) в ложа накопителей в 3-17 раз (таблица 5), что подтверждает эффективность устройства ПФЗ в результате внедрения методики комплексного использования МПГ в строительстве способом «стена в грунте».

Таблица 5 – Водопритоки в котлованы до и после сооружения ПФЗ

Наименование сооружения	Водоприток без ПФЗ		Водоприток с ПФЗ	
	м ³ /сут	л/сек	м ³ /сут	л/сек
Шламоотстойник (Ш2)	129,1	1,49	20,8	0,24
Отстойник (О1)	80,3	0,93	9,4	0,11
Отстойник (О2)	386,2	4,47	124,4	1,44
Шламоотстойник (Ш1)	44,5	0,52	2,7	0,03

Внедрение технологии, основанной на комплексном использовании МПГ (взамен бенитонитовых глин), позволило сократить совокупные затраты на создание ПФЗ способом «стена в грунте» - с 2,03 млрд.руб. до 1,05 млрд.руб., то есть почти в 2 раза.

Кроме того, в четвертой главе приведены разработанные автором в рамках диссертационного исследования и запатентованные конструктивно-технологические решения (рисунок 5) для строительства противофильтрационных завес большой протяженности способом «стена в грунте» с учетом комплексного использования МПГ на территориях со сложным рельефом.

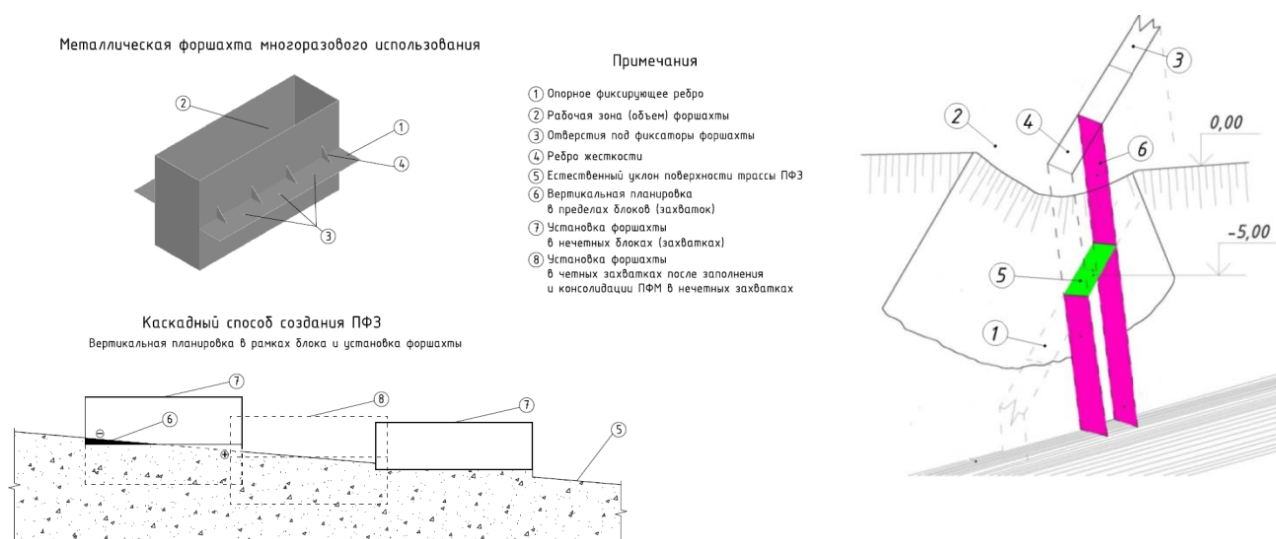


Рисунок 5: слева – каскадный способ создания ПФЗ. Вертикальная планировка и формашхта многоразового использования; справа – способ сопряжения захваток ПФЗ на площадке с разновысокими отметками: 1 - ПФЗ на нижней отметке -5,00 м; 2 - площадка, образуемая отсыпкой грунта, для проходки сопрягающей захватки; 3 - ПФЗ на верхней отметке 0,00 м; 4 - сопрягающая захватка; 5 - горизонтальная плоскость сопряжения завес на разновысоких отметках; 6 - вертикальная плоскость сопряжения завес

Каскадный способ создания противофильтрационной завесы (ПФЗ) с использованием разработанной формашхты многоразового использования резко снижает объемы земляных работ при вертикальной планировке площадки с уклоном свыше 3° (рисунок 5, слева).

Такого же технико-экономического эффекта позволяет добиться способ создания водонепроницаемого сопряжения противофильтрационных завес (рисунок 5, справа), выполняемых способом «стена в грунте» на площадке с большим перепадом высот.

Разработанные инновационные способы, на которые получены авторские свидетельства, снимают ограничения на использование способа «стена в грунте» при создании ПФЗ на площадках со сложным рельефом и позволяют значительно усилить технико-экономический эффект от внедрения в практику гидротехнического строительства методики комплексного использования МПГ, в особенности в области:

- рекультивации техногенно-нагруженных территорий;
- создания противофильтрационных завес большой протяженности (более 1 км) с целью инженерно-экологической защиты территорий, примыкающих к объектам размещения сырья, продуктов и отходов промышленного производства I-V классов опасности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цель настоящей диссертационной работы - совершенствование технологии создания ПФЭ и сооружений инженерной защиты, выполняемых способом «стена в грунте», путем комплексного внедрения местных полиминеральных глин.

Для достижения поставленной цели в диссертации был запланирован и выполнен комплекс аналитических, лабораторных и расчетных исследований, а также полевых экспериментов, а именно:

1. Выполнены анализ и комплексные исследования технологии возведения противофильтрационных завес (ПФЗ) способом «стена в грунте» в гидротехническом строительстве. Выбрано направление совершенствования технологии - за счет использования новых строительных материалов. Взамен дорогостоящих бентонитовых глин предложено внедрить в технологию местные полиминеральные глины, использование которых, с одной стороны, обосновано значительным технико-экономическим эффектом, но, с другой стороны, сдерживается отсутствием полноценной нормативно-методической базы.

2. Проведен анализ нормативно-методической документации использования МПГ при устройстве ПФЗ способом «стена в грунте», а также анализ публикаций по рассматриваемой теме, анализ проблем, связанных с проектированием, строительством и ремонтом противофильтрационных завес, созданных способом «стена в грунте» из пластичных или твердеющих материалов, приготовленных на основе МПГ. Сформулированы задачи настоящей диссертационной работы и составлен план исследований, которые направлены на устранение проблем, препятствующих внедрению в технологию строительства гидротехнических сооружений и сооружений инженерной защиты способом «стена в грунте» широко распространенных МПГ.

3. Разработанный в рамках диссертации подход к работе с паспортными данными карьеров глин и глинистых грунтов позволил подобрать новые критерии (физико-механические характеристики, гранулометрический состав, химико-минералогический состав) оценки качества МПГ и их пригодности для внедрения взамен бентонитовых глин в технологию строительства ПФЗ способом «стена в грунте». Научно обоснованные новые критерии оценки качества МПГ позволяют расширить область применения способа «стена в грунте» в гидротехническом строительстве.

4. На основе критериев разработана новая, не требующая предварительных лабораторных исследований аналитическая методика оценки качества МПГ и технико-экономического обоснования их использования в проектировании и строительстве сооружений инженерной защиты окружающей среды, выполняемых способом «стена в грунте». Эффективность разработанной методики оценки качества МПГ подтверждена результатами лабораторных исследований ТР, приготовленных на основе МПГ трех месторождений Ленинградской области.

5. Изучено влияние эксплуатационных параметров ТР на технологический процесс создания ПФЗ. Предложена классификация способов управления технологическими характеристиками ТР и ПФМ для обеспечения непрерывности технологического цикла создания ПФЗ способом «стена в грунте». Разработаны рекомендации по выбору эффективных способов повышения качества ТР и ПФМ, приготовленных на основе МПГ.

6. Разработана методика комплексного использования МПГ в технологии создания ПФЗ способом «стена в грунте», которая позволяет создать на основе МПГ (взамен бентонитовых глин) два разных по свойствам и назначению материала - ТР и ПФМ, полностью соответствующих нормативным требованиям к их качеству. Установлено, что наибольшего технико-экономического эффекта от внедрения методики в практику гидротехнического строительства способом «стена в грунте» можно достичь при разработке и реализации проектов противофильтрационных завес большой протяженности, создаваемых с целью защиты окружающей среды от загрязнения отходами производств, содержащихся в отвалах и накопителях.

7. Разработана технология строительства противофильтрационных завес способом «стена в грунте», основанная на комплексном использовании местных полиминеральных глин и включающая:

- предварительную оценку качества МПГ по новой методике;
- методические рекомендации по управлению технологическими характеристиками ТР и ПФМ;
- рекомендации по подбору оборудования для технологического цикла подготовки ТР и ПФМ на строительной площадке;
- новую технологическую схему строительства ПФЗ способом «стена в грунте» с учетом полной замены дорогостоящих бентонитовых глин на МПГ на первом (проходка траншеи под защитой ТР) и на втором (заполнение траншеи ПФМ) этапах производства работ.

Комплексное использование МПГ и выполнение работ по единому технологическому циклу, наряду с удешевлением, позволит сократить и сроки строительства ПФЗ.

8. Разработан и запатентован каскадный способ создания противофильтрационных завес, который позволяет обеспечить устойчивость стенок траншей большой протяженности на площадках с уклоном более 3° и при высоком уровне подземных вод. Каскадный способ возведения ПФЗ исключает необходимость проведения вертикальной планировки всей трассы завесы, снижая тем самым объемы земляных работ и обеспечивая значительный технико-экономический эффект.

9. Разработан и запатентован способ создания водонепроницаемого сопряжения противофильтрационных завес, выполненных способом «стена в грунте» на площадке с большим перепадом высот. Данный способ наиболее эффективен при создании завес большой протяженности способом «стена в грунте» на пересеченной местности, а также при создании единой противофильтрационной защиты накопителя отходов (сопряжение существующей дамбы обвалования с новой картой намыва).

10. В рамках проекта рекультивации накопителей высокотоксичных отходов Средне-Волжского завода химикатов в г. Чапаевск (Самарская область) на стадии проекта внедрена разработанная автором диссертационной работы технология создания противофильтрационных завес большой протяженности способом «стена в грунте», основанная на комплексном использовании местных полиминеральных глин. Эти проектные решения получили положительное заключение экологической экспертизы и Главгосэкспертизы России.

11. По результатам внедрения на геофильтрационной модели рекультивируемой территории доказана эффективность противофильтрационных завес, выполненных способом «стена в грунте» по новой технологии, основанной на комплексном использовании МПГ.

12. Определена технико-экономическая эффективность внедрения технологии, основанной на комплексном использовании МПГ (вместо бентонитовых глин). Разработанная технология позволила сократить совокупные затраты на создание ПФЗ способом «стена в грунте» на объекте внедрения с 2,03 млрд.руб. до 1,05 млрд.руб., то есть почти в 2 раза.

13. Наиболее перспективным направлением дальнейших исследований по тематике представленной диссертации, считаю, совершенствование нормативно-методической базы проектирования и строительства гидротехнических сооружений и сооружений инженерной защиты окружающей среды, выполняемых способом «стена в грунте».

Список публикаций по теме диссертации

В журналах из перечня рецензируемых научных изданий:

1. Собкалов, Ф.П. Использование глинистых растворов на основе местных полиминеральных глин при создании завес способом стена в грунте / П.Ф. Собкалов, Ф.П. Собкалов // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. – 2011. – Т. 262. – С. 35–45.
2. Собкалов, Ф.П. Влияние глинистых тиксотропных растворов на качественные характеристики противофильтрационных диафрагм, завес и несущих конструкций, создаваемых способом «стена в грунте»/ П.Ф. Собкалов, Ф.П. Собкалов // Известия ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева. – 2012. – Т. 264. – С. 33–45.
3. Собкалов, Ф.П. Противофильтрационные элементы из пластичных и твердеющих материалов, созданных на основе местных низкосортных глин / Собкалов Ф.П. // Известия ВНИИГ. – 2013. – Т. 270. – С. 67–76.
4. Собкалов, Ф.П. Создание противофильтрационной завесы из местных глин для рекультивации накопителей токсичных отходов / Собкалов Ф.П. // Известия ВНИИГ. – 2014. – Т. 274. – С. 74–84.
5. Собкалов, Ф.П. Обоснование проектных решений по рекультивации накопителей токсичных отходов на территории бывшего завода химикатов в г. Чапаевск / Котлов О.Н., Собкалов Ф.П., Сольский С.В., Таскаева С.Х. // Известия ВНИИГ им. Б.Е. – 2020. – Т. 296. – С. 58–79.
6. Собкалов, Ф.П. Обоснование выбора оптимального основания противофильтрационного контура при рекультивации накопителей токсичных отходов / С.В. Сольский, О.Н. Котлов, Ф.П. Собкалов // Вестник МГСУ. - 2022. - Т. 17. - С. 93-105.
7. Собкалов, Ф.П. Совершенствование технологии производства работ при строительстве противофильтрационных устройств способом «стена в грунте» / С.В. Сольский, Ф.П. Собкалов // Гидротехническое строительство. - 2022. - № 4. - С. 2-7.

Патенты на изобретения РФ:

1. Собкалов, Ф.П. Способ создания водонепроницаемого сопряжения противофильтрационной завесы, сооружаемой на площадке с разновысокими отметками методом «стена в грунте» / Собкалов Ф.П., Собкалов П.Ф., Сольский С.В. // Патент № 2568757 от 20.11.2015.
2. Собкалов, Ф.П. Каскадный способ создания противофильтрационной завесы (ПФЗ), сооружаемой способом «стена в грунте» на откосе с уклоном более 3° / Собкалов Ф.П., Собкалов П.Ф., Сольский С.В. // Патент № 2579780 от 10.04.2016.

Типография ООО «ПК Марка»
195220, Санкт-Петербург, Гжатская ул., 21.
Объем 1,0 п.л. Тираж 100.