

**Акционерное общество  
«Всероссийский научно-исследовательский институт  
гидротехники имени Б.Е. Веденеева»**

*На правах рукописи*



**Собкалов Фёдор Петрович**

**Создание противofiltrационных элементов гидротехнических сооружений  
способом «стена в грунте» с комплексным использованием  
местных полиминеральных глин**

2.1.6 – «Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология»

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
Доктор технических наук,  
главный научный сотрудник С.В. Сольский

Санкт-Петербург

2023

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Глава 1. АНАЛИЗ И ОБОБЩЕНИЕ ОПЫТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПОСОБА «СТЕНА В ГРУНТЕ» В ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ И ОБЛАСТИ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ В ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ....	12
1.1. Общие положения .....	12
1.2. Особенности технологии создания противофильтрационных элементов способом «стена в грунте» и уровень оснащённости технологических процессов парком специальных машин и вспомогательного оборудования .....	15
1.3. Изучение по зарубежным и отечественным научным публикациям направлений развития технологии строительства противофильтрационных завес (ПФЗ) способом «стена в грунте» .....	22
1.4. Анализ отечественной нормативно-методической документации, регламентирующей использование местных полиминеральных глин взамен бентонитовых глин для приготовления тиксотропных растворов и противофильтрационных материалов в технологии создания ПФЗ способом «стена в грунте» .....	36
1.5. Анализ и обобщение выполненных ранее научно-исследовательских работ по использованию местных полиминеральных глин в технологии строительства ПФЗ способом «стена в грунте» .....	41
1.6. План исследования.....	44
Глава 2. АНАЛИТИЧЕСКИЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ МЕСТНЫХ ПОЛИМИНЕРАЛЬНЫХ ГЛИН ВЗАМЕН БЕНТОНИТОВЫХ ГЛИН В ТЕХНОЛОГИЮ СТРОИТЕЛЬСТВА ПФЗ СПОСОБОМ «СТЕНА В ГРУНТЕ».....	47
2.1. Определение критериев оценки качества местных полиминеральных глин, используемых взамен бентонитовых глин на технологических этапах проходки траншеи и ее заполнения противофильтрационными материалами .....	48
2.2. Лабораторные исследования технологических характеристик тиксотропных растворов, приготовленных на основе местных полиминеральных глин карьеров Ленинградской области, с целью оценки эффективности новых критериев.....	54
2.3. Аналитическая методика предварительной оценки качества местных полиминеральных глин (МПГ), используемых в технологии взамен бентонитовых глин для приготовления тиксотропных растворов (ТР) и противофильтрационных материалов (ПФМ).....	70
Глава 3. ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ЗАВЕС СПОСОБОМ «СТЕНА В ГРУНТЕ», ОСНОВАННАЯ НА КОМПЛЕКСНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕСТНЫХ ПОЛИМИНЕРАЛЬНЫХ ГЛИН.....	75

3.1. План исследований, направленных на совершенствование технологии создания ПФЗ способом «стена в грунте».....	75
3.2. Исследование влияния параметров ТР и ПФМ, приготовленных на основе МПГ, на технологический процесс создания противofильтрационных завес способом «стена в грунте» для инженерно-экологической защиты.....	76
3.3. Методика комплексного использования МПГ и разработанная на ее основе технологическая схема создания ПФЗ способом «стена в грунте» .....	88
Глава 4. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ УСТРОЙСТВА ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ЗАВЕС, ВЫПОЛНЯЕМЫХ СПОСОБОМ «СТЕНА В ГРУНТЕ» С УЧЕТОМ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МПГ .....	99
4.1. Разработка оптимальных конструктивно-технологических решений, направленных на расширение области применения способа «стена в грунте» в гидротехническом строительстве.....	100
4.2. Каскадный способ создания противofильтрационной завесы (ПФЗ) .....	101
4.3. Способ создания водонепроницаемого сопряжения противofильтрационных завес, сооружаемых методом «стена в грунте» на площадке с разновысокими отметками .....	105
4.4. Внедрение методики комплексного использования МПГ на примере создания ПФЗ на объекте в г. Чапаевск .....	108
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	126
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	129
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	142
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ПАСПОРТНЫХ ДАННЫХ КАРЬЕРА НА ПРИМЕРЕ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ ВАГАНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЕДИНЫЙ ПО СОСТАВУ И ФОРМЕ ИЗЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ВСЕХ КАРЬЕРОВ) .....	143
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИБОРОВ.....	144
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. ПРОГРАММА ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ .....	145
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕСТНЫХ ПОЛИМИНЕРАЛЬНЫХ ГЛИН В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПЛАСТИЧНЫХ ПФЗ СПОСОБОМ «СТЕНА В ГРУНТЕ».....	154
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. АВТОРСКИЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА.....	176
ПРИЛОЖЕНИЕ 6. СПРАВКА О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ....	178
ПРИЛОЖЕНИЕ 7. СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ.....	179

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** В отечественной и зарубежной практике в различных областях строительства для создания заглубленных сооружений используется технология производства работ способом «стена в грунте» [67].

Суть способа «стена в грунте» в технологии создания противодиффузионных завес (ПФЗ) – разработка траншеи под защитой тиксотропного раствора (ТР), приготовленного из глины, в теле грунтового сооружения или в его основании (грейфером, вращательным или ударным бурением) и замена вынутого грунта противодиффузионным материалом (ПФМ) [120].

На протяжении всей истории использования способа «стена в грунте» в гидротехническом строительстве он зарекомендовал себя в создании надежных противодиффузионных элементов и сооружений инженерной защиты:

- в теле грунтовых плотин и их основаниях;
- в дамбах обвалования водохранилищ ГЭС, ГАЭС - 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 ПФЗ способом «стена в грунте» отводится тиксотропным растворам (ТР), которые в современной строительной практике в подавляющем большинстве случаев приготавливаются из дорогостоящих привозных бентонитовых глин.

Эта роль заключается в следующем:

- удержание стенок траншеи от обрушения при ее проходке;
- обеспечение бесперебойной работы траншеепроходческих машин и вспомогательного оборудования;
- создание на стенках траншеи глинистой корки, повышающей противодиффузионные показатели ПФЗ [129].

Использование бентонитовых глин обосновано с технико-экономической точки зрения при освоении подземного пространства городов, в условиях тесной городской застройки - при создании подземных гаражей, торговых центров, станций метро [34]. 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 этой 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 проблемы для строительной отрасли Российской Федерации приобретает в настоящее время, когда отечественная экономика переориентировалась на внутренний рынок. Процесс импортозамещения затронет и те отрасли промышленности, где увеличиваются объемы использования бентонитовых глин. Мировые запасы бентонитовой глины составляют более 10 миллиардов тонн. На первом месте по запасам - Китай ( $\approx 45\%$ ), затем идут США (15%) и Турция (7%). 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-Нуринаского гидроузла (Казахстан) [127, 142]. Однако приобретенный положительный опыт [21] не получил дальнейшего развития в строительной практике по следующим причинам:

- отсутствие профильного норматива, регламентирующего комплексное использование МПП в создании ПФЗ способом «стена в грунте» [121];

- отсутствие методических рекомендаций по технико-экономическому обоснованию строительства противofильтрационных завес, выполняемых способом «стена в грунте» с использованием МПП взамен бентонитовых глин;

- отсутствие эффективных критериев оценки качества и достаточности ресурса МПП карьеров, расположенных в районах строительства ПФЗ;

- отсутствие технологических схем строительства ПФЗ способом «стена в грунте» с учетом полной замены дорогостоящих бентонитовых глин на МПП на первом этапе (проходка траншеи под защитой ТР) и на втором этапе (заполнение траншеи ПФМ) технологии;

- недостаточная проработанность конструктивно-технологических решений по строительству ПФЗ большой протяженности способом «стена в грунте» с учетом внедрения больших объемов МПП в технологию.

В связи с изложенным решение данных задач в диссертации 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 противофильтрационных завес новых критериев оценки качества МПГ, используемых взамен бентонитовых глин при проходке траншеи и заполнении ее противофильтрационным материалом.

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

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

### **Научная новизна работы**

1. Разработана технология создания способом «стена в грунте» противофильтрационных 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 противофильтрационным 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 противофильтрационных завес большой протяженности, сооружаемых на площадках со сложным рельефом.

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

5. Результаты исследований влияния параметров ТР и ПФМ, приготовленных на основе МПГ, на технологический процесс создания противофильтрационных 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 противофильтрационной 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 [117] и способ создания водонепроницаемого сопряжения ПФЗ, сооружаемых на площадке с разновысокими отметками [122]) для строительства противодиффузионных завес большой протяженности. Запатентованные конструктивно-технологические решения позволяют:

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

- значительно снизить объемы работ по вертикальной планировке трассы ПФЗ [120].

**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) [127].

**Личный вклад.** Выполнен обзор литературы с целью изучения современного состояния вопроса применения способа «стена в грунте» в создании противодиффузионных 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 [127]. В рамках вышеуказанного проекта для создания протяженных ПФЗ автором на основе разработанной в диссертации методики комплексного использования

МПП 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 (МПП) для приготовления тиксотропных растворов и противofильтрационных материалов с целью возведения противofильтрационных 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 противofильтрационных завес способом «стена в грунте».

Автором в соавторстве получено 2 авторских свидетельства на инновационные конструктивно-технологические решения [117, 122].

**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 шесть 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.

Диссертация является результатом многолетних работ автора в этом направлении. Исследования и анализ их результатов проводились в 2012–2023 гг. на базе лаборатории «Фильтрационные исследования» им. акад. Н.Н. Павловского АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева». Научный руководитель - доктор технических наук С.В. Сольский, которому автор выражает благодарность за содействие в постановке задач исследований и методологическое сопровождение работы над диссертацией.

Автор выражает признательность начальнику отдела №310 к.г.-м.н. О.Н. Котлову, заведующей лабораторией «Фильтрационные исследования» им. акад. Н.Н. Павловского к.т.н. М.Г. Лопатиной, сотруднику лаборатории «Фильтрационные исследования» С.А. Быковской, а также сотрудникам ООО «НПК ПРОЕКТВОДСТРОЙ» С.Х. Таскаевой и Е.В. Булганину за участие в проведении и обсуждении отдельных этапов работы, отраженных в совместных публикациях.

# **Глава 1. АНАЛИЗ И ОБОБЩЕНИЕ ОПЫТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПОСОБА «СТЕНА В ГРУНТЕ» В ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ И ОБЛАСТИ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ В ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

## **1.1. Общие положения**

В промышленном, гражданском и гидротехническом строительстве (ГТС) в плотинах гидроузлов, в дамбах обвалования и их основаниях, по периметру строительных котлованов устраиваются противofильтрационные завесы, назначение которых сводится к следующему:

- в дамбах обвалования - инженерно-экологическая защита территорий, прилегающих к накопителям токсичных отходов вредных производств, защита строительных котлованов от поступления грунтовых вод [9, 66, 79, 125, 128].

- в грунтовых плотинах [87] и их основаниях [64, 104, 105, 106, 108] - предотвращение фofильтрационных деформаций грунтов основания - механической и химической суффозий, снижение до нормативных значений фofильтрационного давления на подошву плотины [70]. Для указанных целей используются различные способы и технологии: инъекционные и цементационные завесы, струйная [8] и буросмесительная технологии [1, 12, 55, 69, 75], а также получившая признание во всех видах строительства - технология создания ПФЭ способом «стена в грунте» [40, 41, 56, 89, 141].

Материалы, из которых сооружаются ПФЭ, подразделяются на:

- твердеющие заполнители - материал, приготовленный на основе цементов и силикатов (бетон, железобетон, грунтобетон) [108], к которым относятся также погружные сборные железобетонные и металлические элементы [6, 7, 44, 51, 57];

- глиногрунтовые заполнители: комовые глины, глиногрунтовые смеси и глиноцементные пластичные смеси [88, 90, 123].

По назначению траншейные стенки подразделяются на: несущие; несущие и противofильтрационные; противofильтрационные.

Противofильтрационная прочность и несущая способность стенок обеспечивается свойствами материала-заполнителя траншеи [52, 103, 123]. В зависимости от назначения стенки, гидрогеологических условий ее работы и действующих градиентов напора проектом определяются ее параметры – вид и характеристика материала-заполнителя, глубина и ширина стенки.

Способ «стена в грунте» широко используется в ГТС благодаря тому, что он может применяться практически в любых гидрогеологических условиях (исключением являются

участки с развитием карстового процесса, а также в случае наличия в грунтовой толще по трассе траншеи напорного водоносного горизонта). Способ отличается простотой технологии производства работ, высокой надежностью и возможностью вести контроль качества стенки в грунте на любой стадии ее строительства [120]:

- при подготовке материалов на растворном узле;
- в процессе проходки траншеи под защитой глинистого раствора и заполнения ее ПФМ;
- в процессе эксплуатации завесы [35].

Всё вышперечисленное составляет значительное преимущество способа «стена в грунте» в сравнении с цементацией и инъекционным способом создания завес.

Процесс создания ПФЗ начинается с разработки траншеи, которая заполняется глинистым тиксотропным раствором (ТР) [120]. ТР создает противодействие на стенки траншеи, удерживая их от обрушения в процессе ее проходки [120]. В современной строительной практике в технологии производства работ на первом этапе создания ПФЗ способом «стена в грунте» безальтернативно используются дорогостоящие бентонитовые глины [120]. Высокая стоимость бентонитовых глин обусловлена ограниченным числом их месторождений (в РФ ~ 30 месторождений бентонитовых глин) при огромном спросе на них в различных отраслях промышленности и является одним из факторов, ограничивающих применение и географию использования способа «стена в грунте» в ГТС [120].

Стоимостная доля бентонитовых глин в технологии строительства ПФЗ способом «стена в грунте» достигает 30-35% общей стоимости сооружения, что объясняется следующими факторами [141]:

- высокие транспортные расходы, так как бентонитовые глины практически всегда транспортируются к строительной площадке на большие расстояния;
- высокая отпускная цена бентонитовых глин, которая образуется из-за высокого спроса и их дефицита.

Впервые при освоении технологии возведения ПФЗ способом «стена в грунте» в ГТС специалистами «Гидроспецстроя» и «Гидроспецпроекта» – на опытно-производственном участке Чурубай-Нурина гидроузла (1957 год) успешно прошел испытания тиксотропный раствор, приготовленный из местных полиминеральных глин, что доказало возможность их применения для указанной цели [141, 142].

Опытно-производственные исследования нашли свое продолжение в изучении эффективности комплексного использования МПГ для приготовления ТР и ПФМ в технологии создания ПФЗ в ГТС. Успешное завершение испытаний доказало эту возможность, но на практике, при создании ПФЗ, не получило широкого применения.

Решение ключевой проблемы комплексного использования МПГ даст возможность:

- исключить из технологического процесса создания ПФЗ большой протяженности дорогостоящие дефицитные бентонитовые глины и благодаря этому повысить конкурентоспособность способа «стена в грунте» в ГТС, а также расширить географию его использования;

- обосновывать технико-экономическую целесообразность создания технически и экологически надежных ПФЗ: в дамбах обвалования отстойников и накопителей промышленных отходов, а также в дамбах обвалования водохранилищ для снижения потерь воды и предотвращения заболачивания прилегающих территорий;

- создавать временные ПФЗ вокруг строительных котлованов основных сооружений гидроузлов и строительных котлованов зданий и сооружений, для снижения (исключения) расходов грунтовых вод в котлован;

- значительно снизить затраты на строительство указанных объектов.

Поэтому в этой главе обращено особое внимание на решение проблем, которые позволят комплексно использовать МПГ в ГТС при создании ПФЭ способом «стена в грунте». При решении проблемы важно определить область и границы использования МПГ, которые дадут наибольший технико-экономический эффект, а также обеспечат надежную работу ПФЭ. Важным в работе является систематизация выявленных проблем, определение направления их влияния, поиск путей их решения, которые будут учтены и будут успешно использоваться при проектировании [45], строительстве и эксплуатации ПФЭ.

Для решения указанных проблем выполнены следующие исследования:

1. Проведен анализ материалов открытой печати и изучен отечественный опыт использования МПГ для создания ПФЭ в плотинах и дамбах и их основаниях.

2. Проведен анализ нормативно-методической документации, касающейся комплексного использования МПГ, изучена область и границы их применения для создания ПФЗ в ГТС.

Кроме того – проведен анализ:

- существующих нормативных показателей параметров, определяющих качество и возможность использования МПГ для приготовления ТР;

- действующей нормативной документации, регламентирующей использование МПГ при создании ПФЗ способом «стена в грунте»;

- действующих методик подбора и разработки рецептур ТР на основе МПГ и методик управления их характеристиками при использовании ТР для создания ПФЗ [127].

3. Изучены публикации по проблеме использования ПФМ из МПГ в практике проектирования и строительства ПФЗ, созданных способом «стена в грунте».

Выполненная аналитическая работа проведена в рамках настоящей диссертации. Проведенный анализ материалов систематизирован, выделены основные проблемы,

возникающие при комплексном использовании МПГ в проектировании и строительстве ПФЗ способом «стена в грунте».

Из выявленных в результате анализа проблем выделены наиболее значимые, влияющие на качество создаваемых ПФЗ и на интенсивность производства работ в процессе строительства с использованием МПГ.

В результате определены основные задачи представленного диссертационного исследования, направленные на успешное достижение заявленной цели диссертационной работы.

## **1.2. Особенности технологии создания противofильтрационных элементов способом «стена в грунте» и уровень оснащенности технологических процессов парком специальных машин и вспомогательного оборудования**

Технологическая последовательность производства работ для создания ПФЗ способом «стена в грунте» с использованием МПГ заключается в ее поэтапном исполнении [121].

В состав производства работ входят три последовательно выполняемых технологических этапа:

1. Технология приготовления глинистых растворов.
2. Технология разработки траншеи.
3. Технология подготовки противofильтрационного материала и заполнения им траншеи.

Выполнению технологических этапов создания траншейных стенок предшествуют подготовительные работы, которые касаются:

- выбора траншеепроходческих машин - грейферов, бурofрезерных машин (СВД-500) - и вспомогательного оборудования для укладки ПФМ в траншею;
- выбор технологического оборудования для организации растворного узла (растворомешалки, глиномешалки, установки для очистки растворов, растворонасосы).

Выбор технологического оборудования производится с учетом особенности технологии обработки грубодисперсных МПГ, которые, в отличие от бентонитовых глин, содержат, помимо глинистых частиц, грубодисперсные грунты с крупными включениями, а также пылеватые частицы и мелкозернистый песок, которые при очистке растворов трудно удаляются.

Впервые отечественные траншеепроходческие машины и вспомогательное оборудование были использованы в ГТС в начале 1970-х годов [2]. К ним относятся:

1. Грейферы для проходки траншей глубиной до 25-30 м:

- широкозахватный траншейный грейфер НИИОСП;
- грейфер «Фундаментпроекта»;
- грейфер «Гидроспецпроекта»;
- гидрогрейфер на базе экскаватора ЭО-5122 и др.

2. Буровфрезерные машины типа СВД и барражные машины типа БМ – для проходки траншей глубиной до 50 м.

- СВД-500 и СВД-500Р – разработка Гидропроекта (Киевское отделение), барражная машина БМ-0,5/20-2М (институт ВИОГЕМ).

Выше названа лишь часть траншеепроходческих машин отечественного производства, которые наиболее часто использовались в процессе создания ПФЗ и постоянно модифицировались.

Для выполнения первого этапа – технологии подготовки тиксотропного раствора из МПГ – формируется растворный узел. В состав технологической линии растворного узла включаются:

- склад комовых глин, с которого она поступает в приемный бункер глиномешалки;
- двухвальные глиномешалки марки МГ-2-4,0 емкостью 4 м<sup>3</sup>, производительность которых при обработке комовых МПГ в среднем составляет 7-8 м<sup>3</sup>/час;
- фрезерно-струйная мельница (ФСМ-3 или ФСМ-7 конструкции «Гидроспецстроя») позволяет произвести более тонкую обработку глин. Производительность ФСМ по паспорту – 10-12 т/час, а при очистке глинистого раствора - до 25-30 м<sup>3</sup>/час. Фрезерно-струйные мельницы целесообразно применять для более тонкого диспергирования глинистого раствора после его обработки в двухвальной мешалке МГ-2-4,0. Эффективность применения ФСМ-3 доказана при создании ПФЗ на строительстве пруда-испарителя на одном из химических предприятий [40].

Для дополнительной диспергации глинистых растворов используются следующие виды обработки:

- механический способ – предварительно перемешивается густой маточный раствор, а затем диспергируется на другой установке-диспергаторе, после чего раствор разбавляют водой до нужной концентрации;
- химический способ диспергации – в глинистый раствор добавляются химические реагенты, которые способствуют быстрому разрушению агрегатов глинистых частиц, в результате чего время перемешивания резко сокращается;
- гидратация, которая основана на расклинивающем действии воды, отделяющей твердые частицы глин друг от друга при замачивании.



После получения тиксотропного раствора необходимого качества, которое контролируется с помощью лаборатории ЛГР-3 (рис. 1.1), он подается насосами в емкость для хранения в объеме суточной потребности готового ТР.

Кроме емкости для хранения суточной потребности раствора, в составе растворного узла при необходимости могут использоваться емкости [43]:

- для предварительного замачивания глины из расчета на 100 единиц массы глины расходуется 50 ед. массы воды; предварительное замачивание улучшает качество раствора – водоотдача и отстой снижаются в 1,5-2 раза;

- для глины, размятой в глиномешалке до состояния густого однородного теста (маточный раствор);

- для химреагентов, используемых с целью повышения качества ТР.



Рисунок 1.1 - Состав лаборатории глинистых растворов ЛГР-3

Состав, количество и объемы каждой емкости определяются в ППР.

Для приготовления тиксотропных растворов из глинопорошков используются высокоскоростные растворомешалки турбинного типа (марки РМ 500, РМ 700, РМ 1000, РМ 2000) объемом от 500 до 2000 л. Растворомешалки разработаны в «Гидроспецстрое» и «Гидроспецпроекте» [96].

Принцип действия этих смесителей основан на диспергации глин лопастями ротора, через которые раствор многократно прокачивается насосами, включенными в циркуляционную сеть приготовления раствора.

Для тонкой очистки тиксотропных растворов и для очистки ТР после их использования при проходке траншей применяют ситогидроциклонные установки СГЦУ-1М, СГЦУ-2М, СГЦУ-3М или установки 4СГУ (таблица 1.1 и рисунок 1.2).

Из емкости суточной потребности раствор насосами подается в траншею в процессе ее проходки. Тиксотропный раствор, применение которого является обязательным условием при сооружении ПФЗ способом «стена в грунте», выполняет следующие функции:

- удержание стенок траншеи от обрушения за счет создаваемого противодействия [120];
- формирование на стенках траншеи тонкой глинистой корки, которая улучшает противофильтрационные характеристики сооружаемой ПФЗ, снижает водоотдачу ТР и повышает противофильтрационные показатели ПФЗ [95, 120,129];
- вынос выбуренной породы при проходке траншеи буровфрезерными машинами.

Таблица 1.1 - Технические характеристики ситогидроциклонных установок

Наименование показателя	Обозначение установки		
	СГЦУ-1М	СГЦУ-2М	СГЦУ-3М
1 Максимальная пропускная способность, л/с( м <sup>3</sup> /час):	45 (162)		
- вибросита ЛВС-1М при бурении на воде с сетками 0,16x0,16			
- гидроциклонов ГЦ-300	42 (150)*		84 (300)
- илоотделителей ИГ-100	38 (137)		57 (204)
2 Минимальный размер удаляемых частиц, мм	0,08		
- гидроциклона ГЦ-300			
- илоотделителей ИГ-100	0,04		
3 Сброс шлама с гидроциклонов и илоотделителей	На нижнюю кассету вибросита	На верхнюю кассету вибросита	На нижнюю кассету вибросита
4 Габаритные размеры, мм	3000		
- длина			
- ширина			
- высота	2535		
5 Масса, кг	3000	3000	3050

\*Показатель указан при использовании одного гидроциклона

#### Состав установки

Наименование оборудования	Обозначение установки		
	СГЦУ-1М	СГЦУ-2М	СГЦУ-3М
- Вибросито ЛВС-1М	1 шт		
- Гидроциклон ГЦ-300	2 шт		
- Илоотделитель ИГ-100	8 насадок		12 насадок
- Агрегат электронасосный шламовый	НШБ 160-32Т/45 - 2 шт	НШБ 160-32Т/45 - 2 шт	НШБ 250-35,5Т/55 - 2 шт
- Запорная арматура	1 комплект		



Рисунок 1.2 - Ситогидроциклонная установка

Учитывая цель работы и связанные с ней решаемые задачи – комплексного использования МПГ – изучены:

- влияние свойств ТР на технологию производства работ и на качество возводимой ПФЗ;
- наиболее эффективное применение ТР и ПФМ, исходя из показателей надежности сооружаемых ПФЗ в ГТС и гидрогеологических условий;
- особые условия, при которых целесообразно использовать ТР из грубодисперсных глин (МПГ) с добавками вместо бентонитовых глин (учтено и использовано в разрабатываемом нормативе);
- качество ТР и ограничения на его повторное использование в эрлифтах для выноса грунта при проходке траншей буровфрезерными машинами (СВД-500 и др.).

Вторым этапом технологической последовательности производства работ, после подготовки ТР на растворном узле, следует технология разработки траншей под защитой глинистого раствора.

Разработка траншей под защитой глинистого раствора является основным этапом технологического процесса при создании заглубленных сооружений способом «стена в грунте». На практике на опытно-производственном участке проверяется достижение поставленной цели - комплексное использование МПГ - и оценивается влияние свойств приготовленного на основе МПГ глинистого раствора на технологию производства работ и качество возводимой противодиффузионной завесы.

В зависимости от схемы образования сплошных стенок траншея отрывается короткой или длинной. Разработка коротких траншей ведется отдельными захватками методом чередующихся блоков, между которыми оставляется целик.

Длинные траншеи проходят пионерным способом, при котором землеройная машина ведет разработку на себя, непрерывно наращивая длину траншеи. Этот способ проходки траншей [56] и заполнение их ПФМ весьма эффективно используется при устройстве ПФЗ на открытых площадках, в грунтовых плотинах и дамбах обвалования и их основаниях для защиты подземных и поверхностных вод от загрязнения. В этом случае комплексное использование МПГ целесообразно и эффективно, так как при проходке траншей под защитой ТР требования к безопасному ведению работ снижаются в сравнении с ведением работ в стесненных городских условиях [76, 77, 78, 157, 158] или при создании монолитных несущих стенок, где по соображениям надежности и безопасного производства работ (не допускается обрушение стенок траншей) при проходке траншеи используются ТР на основе бентонитовых глин [56, 80, 81, 141].

С учетом поставленных задач при разработке методики комплексного использования МПГ необходимо учесть особенность технологии ведения работ в процессе создания ПФЗ

большой протяженности для защиты окружающей среды и показать технико-экономические преимущества и перспективы использования ГР и ПФМ, приготовленных из МПГ.

В производственных условиях для проходки траншей глубиной до 30 м рекомендуется использовать гидравлические штанговые грейферы конструкции «Гидроспецпроекта» или же гидравлический грейфер с напорной телескопической штангой на базе экскаватора ЭО-5122 конструкции НИИОСП [94].

Проходка траншеи при создании ПФЗ из нетвердеющих материалов чаще всего производится грейферами в виде непрерывной траншеи или чередующимися блоками. В процессе проходки траншеи необходимо следить, чтобы уровень ГР не опускался ниже 0,3 м от бровки траншеи. В случае прекращения работ на срок более суток на открытых участках траншей необходимо организовать периодическое перемешивание ГР пневматическим или механическим способами, не допуская при этом снижения уровня раствора ниже допустимых пределов (0,3 м).

Перед заполнением траншеи производятся контрольные промеры глубины и вертикальности стенок траншеи, подлежащей заполнению ПФМ, а также проверка стенок траншеи на предмет возможных вывалов и обрушений.

Третий технологический этап создания ПФЗ представляет собой процесс подготовки противofильтрационного материала и заполнения им траншеи. Заполнение траншеи при непрерывной проходке (пионерный способ) осуществляется вдоль оси в направлении ее проходки, сброс комовой глины в траншею осуществляется только с торца траншеи бульдозером или экскаватором. Скорость заполнения траншеи комовой глиной должна обеспечивать естественный угол откоса укладки комовой глины в траншее, а расчетные единичные объемы порций должны исключить зависание комовых глин в траншее.

Во время заполнения траншеи противofильтрационным материалом происходит образование сводов и зависание комьев глины в траншее, что является причиной нарушения сплошности формируемой завесы. Поэтому засыпка траншеи должна осуществляться небольшими порциями, размер комьев МПГ не должен превышать 1/3 ширины траншеи (не более 20 см) [102, 121, 129]. При выборе ПФМ-заполнителя траншеи учитываются гидрогеологические условия, величина градиента напора на завесу, при выборе которого руководствуются таблицей 1.2 [129].

Таблица 1.2 - Допустимый градиент напора для противofильтрационной завесы [127, 129]

№ п/п	Материал заполнения ПФЗ	Допустимый градиент напора $I_d$ для противofильтрационной завесы [127, 129]	
		для постоянного	для временного
1	Бетон	150	200
2	Глиноцементный раствор	100	150
3	Комовая глина	30	50
4	Заглинизированный грунт	20	30 [127, 129]

Помимо технологии заполнения траншеи комовой глиной, для создания ПФЗ применяются еще два способа приготовления ПФМ и укладки его в траншею [112].

Первый способ заключается в перемешивании разрабатываемого грунта траншеи с глинистым раствором в процессе проходки траншеи. Полученный после перемешивания грунта с тиксотропным раствором материал остается в траншее и служит противofильтрационным материалом завесы [67]. Этот способ чаще всего используется для временных ПФЗ при разработке грунта вращательным бурением.

Во втором способе используется вынутый из траншеи грунт, который укладывается вдоль траншеи послойно, каждый слой разравнивается на площадке, подсушивается и обогащается глинистым раствором или глинопорошком. Полученная смесь перемешивается навесными фрезами или дисковыми боронами. В процессе перемешивания в смесь вводятся добавки. Противofильтрационные свойства смеси доводятся до нормативных показателей, после чего она укладывается в траншею (обратная укладка).

Глиноцементный раствор в качестве ПФМ для ПФЭ применяется при градиенте напора  $I_0 \leq 100$ . Для приготовления глиноцементного раствора используются местные полиминеральные глины и цемент.

В отдельных случаях при выборе материала ПФЭ следует учитывать агрессивность окружающей среды и характер фильтрационного потока, его химический состав и агрессивность по отношению к материалу ПФЭ. Поэтому в случае с созданием ПФЗ, основное назначение которой заключается в защите окружающей среды, при выборе материала завесы [74], кроме градиента напора, следует учитывать также и устойчивость материала диафрагмы к агрессивной среде.

Указанная ситуация касается задач исследований при решении вопросов:

- разработки методики комплексного использования МПГ;
- совершенствования технологии устройства ПФЭ с использованием МПГ.

В данном случае необходимо подобрать материал-заполнитель ПФЗ, устойчивый к агрессивной среде и при использовании которого выполняется условие  $I_3 < I_d$ .

Автор предложил исключить применение глиноцементного ПФМ, заменив его на комовые глины – более устойчивый (в сравнении с глиноцементным раствором) к агрессивной среде материал – и увеличив толщину стенки до размера, при котором будет выполнено условие  $I_3 < I_d$ .

Приведенный пример комплексного использования МПГ значительно упрощает производство работ в сравнении с использованием твердеющего глиноцементного материала ПФЗ и решает одну из актуальных проблем замены бентонитовых глин местными полиминеральными глинами при экологической защите природных ресурсов.

### **1.3. Изучение по зарубежным и отечественным научным публикациям направлений развития технологии строительства противофильтрационных завес (ПФЗ) способом «стена в грунте»**

Первая в истории противофильтрационная «стена в грунте» была создана в основании плотины гидроузла Хэлс Бар на реке Теннесси (США), где фильтрационные утечки составляли 476 м<sup>3</sup>/сек, вследствие чего появилась угроза размыва основания [114]. В связи с этим было принято решение создать завесу путем бурения колонковыми станками «Каликс» скважин с частичным перекрытием скважин первого ряда скважинами второго ряда.

Работы начаты в 1940 году и закончены в 1943 году [151]. Таким образом, была создана первая завеса из буробетонных секущихся свай. Длина завесы составила 220 м, глубина - до 47 м, диаметр скважин - 457 мм, максимальное взаимное перекрытие свай - 76 мм.

В Европе способ создания траншейных противофильтрационных стенок получил известность в 1953 году. Технология производства работ этим способом была запатентована в Австрии в 1952 году (патент №176800) и получила наименование «ИКОС-Федер».

Сущность способа «ИКОС-Федер» для устройства ПФЗ из пересекающихся набивных бетонных свай сводилась к следующему - забуривается скважина Ø600-1000 мм, где роль обсадки выполняет глинистый раствор (а не обсадная труба), после чего скважина бетонируется [165]. Аналогичным образом устраивается вторая набивная свая, расстояние между осями смежных свай - менее одного диаметра [165]. После этого между двумя сваями производится смыкающая свая, и в результате получается фрагмент будущей буронабивной стенки из взаимопересекающихся бетонных свай [165].

Однако указанный способ имел ряд недостатков:

- невозможность создания стенки постоянной толщины;
- снижение общего противофильтрационного эффекта из-за большого количества швов;

- трудоемкость, сложность и высокая стоимость производства работ по устройству стенки из отдельных свай.

Анализ указанных недостатков привел к идее – бурить не отдельные скважины, а узкие глубокие траншеи, в которых устойчивость стенок будет обеспечиваться заполняющим ее глинистым раствором. Это новшество позволило: резко сократить количество вертикальных швов, рационально расходовать материал, получить возможность горизонтального армирования, удешевить и упростить производство работ по созданию траншейной стенки.

Со временем накопленный опыт укрепил доверие специалистов к свойствам глинистого раствора, который позволил более широко внедрять в практику строительства прогрессивную технологию создания ПФЗ и несущих конструкций способом «стена в грунте» [109].

Способ хорошо зарекомендовал себя на многих строительных объектах и успешно применяется в настоящее время в нашей стране и за рубежом. В 1958 году способом «стена в грунте» за рубежом впервые было выполнено ограждение котлована из буронабивных свай глубиной более 12 м под зданием радиостанции в Мюнхене [141, 148].

Первым значимым объектом, при строительстве которого применялась новая технология – это сооружение тоннеля метрополитена в Милане. Проходка траншеи осуществлялась под глинистым раствором с последующим бетонированием [56, 156, 167, 168].

В нашей стране новая технология также получила признание, успешно развивалась и совершенствовалась [141]. Например, применение глинистого раствора для удержания стенок траншей от обрушения впервые было предложено в 1955 году М.Г. Ефремовым, Н.А. Рождественским и С.А. Тер-Галустовым (авторское свидетельство № 103928).

Появление глинистого раствора и рост доверия специалистов к его свойству – удерживать стенки скважины от обрушения в процессе ее проходки и заполнения ПФМ – позволило исключить те недостатки, которые имеют свайные буронабивные стенки в процессе их создания и эксплуатации [38, 99]. К этим недостаткам относятся:

- излишний расход материала, связанный с конфигурацией стенки и частичным разбуриванием свай первой очереди;

- наличие 1-2 вертикальных швов на 1 пог. м длины стенки снижает ее противодиффузионные показатели, создает опасность возникновения щелей при нарушении вертикальности свай и, таким образом, снижает водонепроницаемость и прочность конструкции стенки;

- невозможность армирования стенки из отдельных свай в горизонтальном направлении;

- сложность исполнения, трудоемкость и высокая стоимость производства работ при сооружении ПФЗ из отдельных свай.

Использование тиксотропных глинистых растворов вместо обсадных труб для создания буробетонных свайных стенок позволило достичь значительного экономического эффекта и технологических преимуществ, которые заключаются в следующем:

- значительно повысилась скорость проходки скважин за счет выноса бурового шлама по трубам глинистым раствором, благодаря чему исключаются спуско-подъемные операции бурового снаряда;
- исключалось использование обсадных труб;
- благодаря пропитке стенок скважин глинистым раствором значительно повысилась водонепроницаемость завесы;
- повысилась износостойчивость долот бура при проходке скважин.

Использование глинистых тиксотропных растворов в технологии создания свайных буробетонных завес внесло радикальные изменения благодаря замене обсадных труб и получения за счет этого технологических и качественных преимуществ [18, 19, 61, 68, 69, 73].

История появления новых технологий создания свайных буробетонных и траншейных стенок в ГТС нашей страны связана с началом бурного строительства крупных гидроузлов – ГЭС, ГАЭС, ТЭС, востребующих возведение масштабных сооружений – грунтовых и бетонных плотин в сложных гидрогеологических и климатических условиях – и создание противofильтрационных элементов в плотинах и их основаниях с целью:

- снижения фofильтрационного давления и противодействия в основании;
- предотвращения фofильтрационных деформаций грунтов основания, механической и химической суффозии;
- качественного сопряжения тела плотины с основанием;
- снижения потерь воды верхних бассейнов ГАЭС, водохранилищ и каналов;
- водопонижения в строительных котлованах.

В связи с этим возросла роль и значимость специальных работ в ГТС, которые в новых условиях превратились в крупную отрасль строительства. Все проблемы, связанные с созданием ПФЗ и подземных несущих конструкций [82], предстояло решить в сложных гидрогеологических условиях, где традиционные виды противofильтрационных мероприятий не отвечали новым требованиям в связи с их низкой эффективностью и высокой стоимостью.

Для решения поставленных задач, связанных со строительством крупных гидроузлов и с выполнением специальных видов работ на них, в 1951 году был создан трест «Гидроспецстрой». А для разработки проектов специальных видов работ в 1956 году был создан институт «Гидроспецпроект».



Как показал опыт, это, безусловно, повлияло на успешное решение задач, связанных с разработкой и освоением новых технологий, новых проектных решений, используемых в проектах производства работ в ГТС.

В нашей стране освоение технологии создания ПФЗ с помощью свайных буробетонных стенок впервые началось с сооружения завесы в теле и основании грунтовой плотины Чурубай-Нурина водохранилища в 1957 году [18, 141, 142].

Проектом было предусмотрено создание буробетонной свайной завесы, перекрывающей аллювиальную толщу в основании плотины, ее врезка в коренные породы и сопряжение с суглинком тела плотины [21, 142]. Основные параметры буробетонной свайной ПФЗ и объемы выполненных работ следующие: длина завесы – 947 м; площадь завесы – 22 тыс. м<sup>2</sup>; количество свай – 1890 штук; бурение скважин – 43,9 тыс. пог. м, в том числе в аллювии – 26 тыс. пог. м; в скале – 1,1 тыс. пог. м, в суглинке – 16,8 тыс. пог. м.

Объем приготовленного глинистого тиксотропного раствора для проходки скважин и траншей составил 36,7 тыс. м<sup>3</sup>. Заполнение скважин завесы производилось глиноцементным, суглинисто-цементным и песчано-цементным растворами различного состава.

Учитывая, что это первая буронабивная свайная стенка в нашей стране, которая начиналась с чистого листа, так как практического опыта создания таких сооружений не было, «Гидроспецстрой» и «Гидроспецпроект» перед началом строительства в 1956 году провели опытно-производственные работы на строительной площадке плотины Чурубай-Нурина водохранилища [141, 142]. В рамках опытно-производственных работ была отработана технология создания ПФЗ из буронабивных свай, осуществлена проверка разработанных рецептур тиксотропных растворов, материалов-заполнителей траншейных стенок, машин и механизмов для проходки траншеи.

Таким образом, строительная площадка становилась полигоном для определения целей и задач, связанных с разработкой новой технологии на перспективу и касающихся:

- совершенствования методов комплексного использования природных ресурсов в гидротехническом строительстве;
- технико-экономического обоснования конструктивных решений, используемых в ГТС для создания ПФЗ и обеспечивающих надежную работу плотин, дамб, отстойников, водохранилищ и т.д.;
- разработки норматива для новой технологии с использованием ТР и ПФМ для создания ПФЗ;
- способов повышения эксплуатационной надежности противифльтрационных завес, создаваемых в теле и основании грунтовых гидротехнических сооружений (плотин, дамб и т.д.) [119].

Опытные работы производились в таких же гидрогеологических условиях, как и сама завеса из буронабивных свай. Проходка скважины производилась через толщу аллювия мощностью до 6-20 м, представленного гравийно-галечниковыми грунтами с включением валунов. Водопроницаемость этого слоя характеризовалась коэффициентом фильтрации  $k_f = 150-700$  м/сут [18].

Опытная буронабивная свайная завеса выполнялась на глубину 8-35 м из взаимопересекающихся бетонных свай. Диаметр свай - 600-700 мм, расстояние между осями свай - 500 мм. Толщина завесы составила 450 мм и 330 мм (соответственно диаметру свай).

Заполнение скважин производилось глиноцементным и суглинисто-цементным растворами. Прочность в 7-дневном возрасте составила 8-14 кг/см<sup>2</sup>, что соответствовало требованиям проекта, в котором было предусмотрено, что к моменту бурения замыкающих скважин прочность бетона первоочередных свай должна быть 8-14 кг/см<sup>2</sup>.

Новинкой в опытных работах было использование глинистых тиксотропных растворов вместо обсадных труб при бурении для удержания стенок скважин от обрушения [18, 129, 141, 142]. Бурение скважин производилось ударно-канатным способом станками УКС-22М. К забою по трубам Ø50мм подавался глинистый раствор, приготовленный из бентонитовых глин Кызыл-Тишинского месторождения. Новый способ создания ПФЗ непрерывным или блочным траншейным способом позволил упростить технологические процессы и дал значительные технико-экономические и качественные преимущества перед свайным способом.

Кроме того, предложенная технология траншейного способа создания ПФЗ благодаря использованию высокопроизводительного оборудования для проходки траншей и современных растворных узлов на стройплощадке (для подготовки ПФМ, очистки и перекачки растворов) имела значительное преимущество перед традиционными способами создания противofильтрационной защиты: экраны, инъекционные завесы, водопонижение, буробетонные свайные завесы.

К указанным преимуществам новой технологии, как показал производственный опыт, относятся высокое качество и надежность ПФЗ благодаря возможности производить контроль качества как в процессе создания, так и в процессе эксплуатации ПФЗ.

Кроме того, были достигнуты высокие темпы проходки траншей и их заполнение ПФМ, благодаря чему сократились сроки строительства. Расширена область применения траншейных завес благодаря использованию высокопроизводительного оборудования при производстве работ в сложных гидрогеологических условиях.

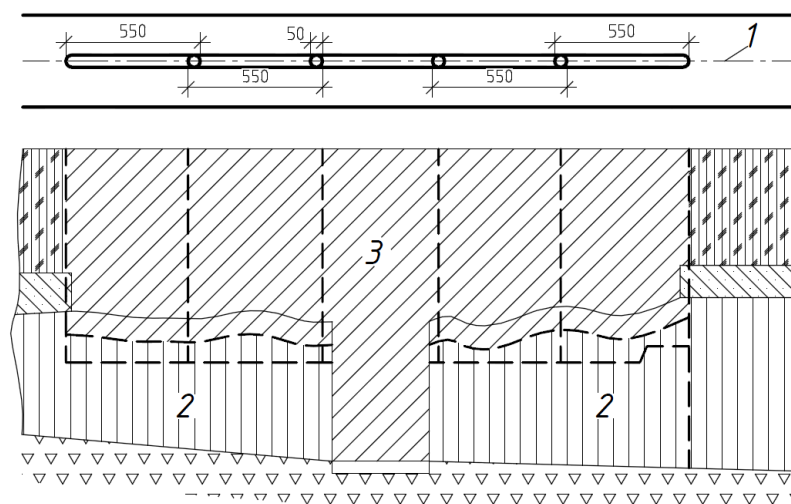
Для освоения и отработки новой технологии создания траншейной ПФЗ на опытном участке под защитой глинистого раствора на глубину 23 м в аллювиальных грунтах с включениями крупных галечников и валунов была пройдена траншея длиной 3 м и шириной 0,5

м. Траншея разрабатывалась буровыми станками УКС-22М и заполнялась противодиффузионным пластичным грунтоцементным раствором, который подавался в забой траншеи насосами 11ГР.

Глинистый раствор готовился в растворомешалках П2-Г2-4,0 из бентонитовых глин Кызыл-Тишинского месторождения [18] и обладал следующими параметрами: плотность раствора  $\rho = 1,08 \div 1,2 \text{ г/см}^3$ ; условная вязкость  $T = 20 \div 40 \text{ сек}$  по СПВ-5; водоотдача  $15 \div 20 \text{ см}^3$  по ВМ-6.

Очистка глинистого раствора от выбуренной породы осуществлялась на двух параллельно работающих вибрационных ситах типа СВ-1.

Успешно проведенные опытные работы подтвердили эффективность разработанной технологии создания ПФЗ траншейным способом и впервые дали возможность возвести стенку в пределах основного контура ранее возведенной свайной противодиффузионной завесы [18, 142]. Длина траншейной стенки – 25 м, толщина – 0,5 м, глубина – 22,7 м. (рисунок 1.3).



1 – ось плотины; 2 – свайная завеса; 3 – траншейная завеса

Рисунок 1.3 - Схема производства работ при сооружении противодиффузионной завесы на Чурубай-Нуринском гидроузле

Траншея разрабатывалась способом чередующихся блоков длиной 5,5 м. Для образования сплошной траншеи сначала разрабатывались блоки первой очереди, через одну, а после их заполнения ПФМ - блоки второй очереди с последующим их заполнением ПФМ.

Проходка блоков осуществлялась буровыми станками марки УКС-22М. Буровой станок передвигался вдоль траншеи с помощью полиспастов, закрепленных на анкерах. Выбуренная порода подавалась эрлифтом производительностью  $50 \text{ м}^3/\text{час}$  на вибросита СВ-1, на которых глинистый раствор очищался для повторного использования.

Успешное освоение траншейного способа создания противодиффузионной завесы в плотине действующего Чурубай-Нуринского гидроузла стало несомненным успехом в

сравнении со свайным, так как значительно повысилась производительность труда, расширена область применения траншейных стенок, стало возможным армирование в горизонтальном направлении и создание конструкций из сборных элементов.

Это был первый опыт освоения новой технологии, но в перспективе имелись большие возможности ее совершенствования в части использования новых материалов, оборудования и т.д. Впервые, при технико-экономической оценке способа отмечена высокая стоимость создания траншейных стенок за счет привозных бентонитовых глин ввиду ограниченного числа их месторождений в РФ (на сегодня эксплуатируется 15 месторождений) и огромного спроса на них [97]. Они используются не только в строительстве, но практически во всех отраслях промышленного производства, в том числе в пищевой промышленности и в парфюмерии.

Учитывая, что альтернативной замены (с более низкой стоимостью) бентонитовым глинам на тот период не было, начался поиск возможной замены. Третья серия опытно-производственного эксперимента на участке стройплощадки Чурубай-Нурина гидроузла была посвящена отработке и освоению новой технологии создания траншейных противодиффузионных стенок с использованием тиксотропных растворов, приготовленных на основе местных полиминеральных глин (МПГ).

Для изучения возможности снижения стоимости создания траншейных стенок специалистами предложен вариант с использованием МПГ в качестве сырья для приготовления тиксотропных растворов вместо привозных бентонитовых глин. Поставленная задача имела большое значение для технико-экономического обоснования новой технологии создания ПФЗ.

Для ее решения на опытном участке, в створе создаваемой траншейной завесы, проведены испытания рецептур тиксотропных растворов из МПГ. В захватке длиной 5,5 м пройдена траншея глубиной 23 м и шириной 0,5 м под защитой глинистого ТР из МПГ вместо ТР из бентонитовых глин, предусмотренных проектом.

Выбуренная порода с глинистым раствором эрлифтом подавалась на вибросита СВ-1, где отделялась от раствора. После проходки траншеи до проектной отметки в нее насосом 11ГР по трубам Ø50 мм подавался пластичный глиноцементный раствор, в котором глинистым компонентом служила та же местная полиминеральная глина. Прочность глиноцементного камня составила 14 кг/см<sup>2</sup>. Участок завесы был успешно пройден под защитой глинистого раствора из местных МПГ и заполнен ПФМ, то есть был произведен весь комплекс работ технологического цикла.

Вывод специалистов «Гидроспецпроекта», проводивших опытно-производственное испытание тиксотропных растворов из МПГ, сводился к следующему - впервые была доказана возможность использования местных полиминеральных глин для приготовления ТР и их применения в технологии создания траншейных ПФЗ, но в выводе подчеркнуто: «для получения

*необходимых свойств 1 м<sup>3</sup> тиксотропного раствора требовалось увеличение расхода местной глины (в сравнении с бентонитовой) в 2,5-3 раза. Качество раствора все же было хуже» [142].* Вывод логичен, иначе не было бы смысла использовать бентонитовые глины, если бы их качество было сравнимо с качеством МПГ. Согласно нормативам, качество глинистого сырья оценивается выходом глинистого раствора (в м<sup>3</sup>), полученного из 1 т глинопорошка [137].

Опыт использования способа «стена в грунте» на Чурубай-Нурунском гидроузле подтвердил эффективность разработанной технологии, материалов и применяемого отечественного оборудования, которые начали успешно использоваться на ряде гидроузлов страны [141, 142].

В 1961 году на реке Иори сооружена противофильтрационная траншейная завеса из твердеющей грунтоцементной смеси протяженностью 169 м, глубиной 17,5-26,4 м, шириной 0,6 м и общей площадью 4240 м<sup>2</sup>. Завеса выполнена в левобережном примыкании плотины Сионского гидроузла в супесчано-суглинистых грунтах со значительным содержанием галечнико-валунных грунтов [81]. Проходку траншеи вели методом чередующихся блоков длиной 5,25 м станками ударно-канатного бурения УКС-3АМ и БС-1 под защитой бентонитового раствора из глин Махарадзевского месторождения, который готовился на растворном узле в смесителях П2-Г2-4,0.

Траншейный способ успешно использовался для устройства зуба с верха плотины до верха ядра на Павловской ГЭС [17]. Противофильтрационный зуб выполнен частично в виде траншейной стенки, а частично - в виде бетонной свайной стенки. Новшеством в технологии создания траншейной стенки является впервые примененный способ получения ПФМ путем перемешивания вынутого из траншеи грунта с глинистым раствором, заполняющим траншею. Впоследствии технология приготовления ПФМ получила название - способ обратной засыпки [56].

В процессе выполнения траншейной стенки установлено - в зависимости от грансостава разрабатываемого грунта, реологических характеристик раствора и качества подготовки смеси можно получить практически водонепроницаемый пластичный материал. Скелет ПФМ в этом случае образуется частицами разрабатываемого грунта, а поровое пространство заполнено ТР.

Для уменьшения притока в котлован Нижнекамской ГЭС и снижения затрат на водопонижение была выполнена траншейная ПФЗ длиной 600 м и площадью 10400 м<sup>2</sup> [11]. Стенка располагалась с внутренней стороны перемычки и пересекала песчаную толщу с  $k_{\phi} = 10 \div 15$  м/сут и песчано-гравелистый аллювий с  $k_{\phi} = 25 \div 60$  м/сут. Общая мощность толщи пересекаемых слоев с учетом врезки стенки на 1,5 м в водоупор составила 17,5 м, ширина – 0,5 м.

Новшеством в создании ПФЗ на этом объекте явился способ проходки траншеи под защитой глинистого раствора, которая впервые производилась непрерывным пионерным способом (не блочным) при одновременном заполнении траншеи комовой бентонитовой глиной Биклянского месторождения (плотностью -  $1,95 \div 2,02 \text{ г/см}^3$ , влажностью -  $16 \div 28\%$ ). Крупные комья - до 200-300 мм сталкивались бульдозером с торца траншеи и погружались в раствор, образуя откос  $25-45^\circ$  при среднем его заложении 1:3.

Эрлифт рабочего агрегата СВД-500, служащий для удаления грунта, отделялся от места засыпки инвентарным шаблоном на таком расстоянии, чтобы исключить попадание в него комовой глины. Тиксотропный раствор готовился также из Биклянской бентонитовой глины плотностью  $1,16 \div 1,25 \text{ г/см}^3$ , после использования раствор очищался на установке 4СГУ и вновь подавался в траншею для повторного использования. Поддержание уровня раствора в траншее производилось путем добавления свежего раствора, подаваемого от растворного узла.

Определенный интерес в этой работе вызвала попытка применения в качестве заполнителя траншеи комового суглинка вместо комовых бентонитовых глин с целью снижения стоимости сооружаемой завесы [11]. Попытка, как считают специалисты, оказалась неудачной, так как комовый суглинок зависал в траншее на глубине 2 м, образуя своды.

Позднее опыт показал, и это отражено в нормативах, что образование сводов при заполнении траншей зависит от качества ПФМ, приготовленного на основе МПГ, и качества его подготовки, что является основным недостатком этой технологии, для устранения которого, однако, существуют эффективные меры.

Опыт создания пластичной (глинистой) ПФЗ на Нижнекамской ГЭС с успехом использовался на других объектах: на Камском автозаводе вокруг насосной станции, а также на Киевской ГАЭС, где на участке 990 м по периметру верхнего бассейна с ограждающей дамбы сооружена ПФЗ глубиной 17-22,5 м, шириной 0,55 м - из неогеновой МПГ в комьях под глинистым раствором [46; 80]. Завеса пересекала тело дамбы и врезалась в водоупор из озерных глин.

Впервые разработанная технология создания пластичных ПФЗ из комовых глин в непрерывной траншее дала положительный результат, который выразился в ее использовании в таких областях, как защита подземных и поверхностных вод от загрязнения отходами вредных производств, а также защита территорий от подтопления и водопонижение в строительных котлованах.

Кроме того, практика показала, что глиногрунтовые противодиффузионные материалы траншейных завес обладают более высокой устойчивостью к различным агрессивным средам, в том числе к загрязненным радионуклидами грунтовыми водам [75, 141]. Это одно из преимуществ рассматриваемой технологии при ее использовании для защиты подземных и

поверхностных вод. Кроме того, к преимуществу траншейных завес такого типа можно отнести отсутствие необходимости остановки эксплуатации ГТС в период их создания с целью ремонта грунтовых плотин и ограждающих дамб. Примером в данном случае может служить ремонт дамбы Северо-Крымского канала, произведенный в 1970 году [56]. На сильно фильтрующем шестидесятиметровом участке дамбы канала агрегатом СВД-500 была пройдена непрерывная траншея шириной 0,5 м и глубиной 15 м, которая была заполнена выбуренным грунтом (суглинок в основании и теле дамбы) - предварительно измельченным и перемешанным с бентонитовым раствором в процессе разрушения грунта в забое траншеи - путем его эрлифтирования по пульповоду обратно в траншею.

Замытый таким образом заполнитель сформировал монолитную непроницаемую стенку. После сооружения завесы в течение непродолжительного времени фильтрация через дамбу прекратилась. Этот новый способ создания ПФЗ получил название «способ обратного намыва в траншею выбуренного заглинизированного грунта».

Интерес представляет и второй пример ремонта дамбы эксплуатируемого Туя-Муонского гидроузла, произведенного в 1989-1991 годах [80]. Для повышения водонепроницаемости защитной дамбы и снижения потерь воды создана противотрационная траншейная завеса с помощью агрегата СВД-500Р.

С поверхности дамбы непрерывным способом пройдена траншея глубиной 28 м и шириной 0,6 м. Траншея была врезана в водоупор и заполнена местной комовой глиной, уложенной в бентонитовый раствор. Общая площадь траншеи составила 72500 м<sup>2</sup>. После консолидации комовой глины в течение 1,5 месяцев ПФЗ достигла проектных показателей по водопроницаемости.

Приведем анализ примеров создания ПФЗ (из отечественной строительной практики), связанных с защитой окружающей среды [11, 33, 56, 75].

Для защиты окружающей среды от загрязнения хранящимися в отвалах и накопителях токсичными шлаками выполнена пластичная траншейная завеса длиной 1800 м, шириной 0,55 м из комовых глин по периметру золоотвала ГРЭС-2 в Экибастузе [32]. Траншея пройдена агрегатом СВД-500Р под глинистым раствором из бентонитовых глин. С той же целью выполнена траншейная ПФЗ из комовой глины длиной 2500 м, глубиной 40 м, по периметру золоотвала ТЭЦ в Йошкар-Оле [9, 10, 32]. Проходка траншеи осуществлялась агрегатом СВД-500Р под защитой ТР из бентонита.

Для защиты подземных и поверхностных вод от загрязнения выполнена ПФЗ из неогеновой комовой глины по периметру шламонакопителя №2 Калужского ПО «Хлорвинил». Завеса протяженностью 2800 м и глубиной 16-26 м и шириной 0,6 м, заглубленная в водоупор из неогеновых глин. Особенность этого объекта заключалась в том, что траншея пройдена в

валунно-галечниковых, сильно обводненных грунтах (размер валунов - до 500 мм). Таким образом, была доказана возможность проходки траншеи вращательным бурением агрегатом СВД-500Р. До сих пор считалось, что в таких гидрогеологических условиях траншейные стенки можно сооружать только методом секущихся свай станками ударно-канатного бурения.

Сооружение ПФЗ из комовых глин на Чернобыльской АЭС ставило своей целью защиту подземных вод от радиоактивного загрязнения, которое могло произойти путем инфильтрации загрязненных вод с поверхности площадки АЭС и фильтрации пруда-охладителя [33]. Противофильтрационная завеса была выполнена «Гидроспецстроем» способом «стена в грунте». Длина стенки - 2113 м; глубина - 29-32 м; стенка заглублена в водоупор на 1 м. По условиям фильтрации принятую конструкцию стенки следует считать совершенной. Ширина стенки выполнена одинаково по всей длине и составила 0,6 м.

Монолитное тело стенки из комовой глины формировалось под действием собственного веса комьев, частичного набухания глины в бентонитовом растворе и активного давления вмещающего грунта. Для создания качественной ПФЗ объем комьев должен составить не менее 60-70% фактического объема траншеи.

Комовые глины, которыми заполнялась траншея для образования ПФЗ, добывались на Чистогаловском карьере №2, находящемся в 10 км от стройплощадки. Лабораторные опыты показали, что местные глины вполне пригодны в качестве материала-заполнителя для образования качественной траншейной завесы. Они имели следующие физико-механические показатели: плотность  $\rho = 2,75 \text{ т/м}^3$ , предел раскатывания - 19%, предел текучести - 41%, число пластичности - 22, показатель консистенции - 0,1-0,2.

В насыпи глина имела явно выраженную комовую структуру. Пригодность глин в качестве материала-заполнителя проверена и подтверждена на опытно-производственном участке длиной 60 м. Бентонитовый буровой раствор приготавливали из бентонитовых привозных глинопорошков следующих месторождений: Иджеванского (Армения), Махардзевского (Грузия), Черкасского (Украина) и из Болгарии. Расход материалов на  $1 \text{ м}^3$  раствора Черкасского бентонита - 60-70 кг. Расход воды - 960-970 кг, кальцинированной соды - 3-3,5 кг.

Свойства тиксотропного раствора, полученного на основе Черкасского бентонита [3]:

- плотность,  $\text{г/см}^3$  -  $1,04 \div 1,05$  [3];
- условная вязкость, сек - 19 [3];
- водоотдача,  $\text{см}^3/\text{за } 30 \text{ мин}$  - 20 [3];
- толщина глинистой корки, мм - 3,5 [3];
- суточный отстой, % - 0 [3];
- содержание песка, % - 0,3 [3].



Интерес представляет общий и удельный расход тиксотропного раствора на сооружение ПФЗ на территории Чернобыльской АЭС. На приготовление бентонитового раствора при объеме пройденной траншеи - 40 тыс. м<sup>3</sup> - израсходовано 14300 т бентонитовых глин. На 1 м<sup>3</sup> траншеи расходовалось 350 кг бентонитовых глин или 2,2 м<sup>3</sup> раствора.

Определенный интерес также представляет опыт создания ПФЗ, выполненной для защиты промышленной территории Яворовского ГХК от подтопления. Проходка траншеи под завесу длиной 1800 м и шириной 0,5 м и ее заполнение производилось агрегатами СВД-500Р на глубину 37 м для защиты от подтопления карьера добычи серы Яворовского горно-химического комбината грунтовыми водами со стороны реки. Карьер вскрыт на глубину до 38 м в сильно обводненных песчано-суглинистых грунтах с гравийно-галечниковыми линзами. Система водоотлива не справлялась с поступающими расходами воды, но по мере разработки траншеи с бортов карьера стекал бентонитовый раствор, и вследствие кольматации стенок траншеи вода перестала поступать на защищаемую территорию. А после заполнения траншеи местным глинистым грунтом борта карьера стали сухими.

Интерес к этому объекту вызван тем, что разработанная технология создания ПФЗ с заполнением непрерывной траншеи комовой глиной используется в новой области (направлении), которая отличается от защиты строительных котлованов тем, что в рассматриваемом случае завеса будет эксплуатироваться постоянно в отличие от завесы временной эксплуатации вокруг строительного котлована.

В 1966-67 годах была возведена ПФЗ из нетвердеющего глиногрунтового заполнителя по периметру пруда накопителя-испарителя очистных сооружений Кременчугского НПЗ. Длина ПФЗ - 7,3 км, глубина - 12-16 м. Основание площадки из 12-14-метрового слоя пылеватых суглинков и средне- и мелкозернистых песков с  $k_{\phi} = 4-17$  м/сут, под которыми залегает слой водоупорных глин  $k_{\phi} = 10^{-3}$  м/сут.

Завеса выполнена по проекту института «Гидроспецпроект». Большая часть (6,8 км) завесы выполнена путем непрерывной разработки траншеи драглайном под защитой бентонито-пальгорскитового раствора. Добавка пальгорскита введена по рекомендации НИИ Коллоидной химии АН. Заполнитель траншеи состоял из грунта, вынутого из траншеи и заглинизированного бентонито-пальгорскитовым раствором. Это технологическая схема обратной отсыпки заглинизированного грунта. Коэффициент фильтрации созданной ПФЗ составил  $7,1 \cdot 10^{-5}$  м/сут [10, 56].

Вторая часть участка ПФЗ длиной 500 м, глубиной 14 м и шириной 0,5 м вокруг пруда-накопителя Кременчугского НПЗ выполнена агрегатом СВД-500. На этом участке впервые в мировой практике строительства траншейных ПФЗ предложен нетвердеющий пастообразный пластичный глинистый заполнитель траншеи, приготовленный на основе местных суглинков,

бентонита и палыгорскита, одним из важных свойств которого является устойчивость к воздействию агрессивных сред [115].

Коэффициент фильтрации пастообразной глинистой стенки составил  $10^{-6}$  м/сут. Заполнение траншеи глинистой пастой осуществлялось способом восходящего потока, специально разработанным и испытанным на участке, оборудованном комплексом машин и механизмов: агрегат СВД-500; ситогидроциклонная установка 4СГУ; агрегат ГЗ-1; компрессор ДК-9; самоходный кран.

За рубежом способ создания ПФЗ - проходки траншеи и ее заполнения - получил свое название по наименованию фирм-производителей траншеепроходческих машин. Примером может служить сооружение стенок подземного перехода Лондонского метро - проходка траншеи длиной 300 м и глубиной 5 м осуществлялась чередующимися блоками (по методу Икос-Федер) грейфером этой фирмы [165].

При строительстве гидроузлов Марколегейм и Ринау на р. Рейн выполнено ограждение строительных котлованов для защиты от притока грунтовых вод [152]. Проходка траншей производилась по способу «Родио-Маркони» вращательным бурением. Траншея шириной 0,8 м пройдена на глубину до 30 м методом чередующихся блоков захватками по 5-6 м. Общая площадь завес на гидроузлах составила 7,5 и 15 тыс. м<sup>2</sup> соответственно.

Способом «Титания» выполнена завеса шириной 0,8 м и глубиной 15 м в основании плотины Сант-Люс на р. Фин [166]. Способ основан на проходке траншеи вращательным бурением на всю глубину, вынос выбуренной породы осуществлялся землесосом через буровые трубы. Для заполнения траншеи ПФМ (комовая глина) участки траншеи разделялись специальными инвентарными шаблонами через каждые 2-6 м. Проходка траншеи осуществлялась под защитой тиксотропного бентонитового раствора.

Определенный интерес представляет траншейная завеса, которая была выполнена в Калифорнии (США) для защиты земель от подтопления [149]. Протяженность завесы - 5,7 км, глубина - 5,5-13,6 м, ширина - 0,8 м. Проходка траншеи производилась под защитой глинистого раствора плотностью 1,07-1,22 г/см<sup>3</sup> специально сконструированным для этой цели многоковшовым экскаватором с отвальным транспортером. Стрела экскаватора длиной 23,8 м собиралась из отдельных секций.

Заполнение траншеи комовой глиной производилось грунтоукладочной машиной, обеспечивающей перемещение глины по траншее до забоя. Необходимо отметить, что укладка комовой глины в траншею специальной машиной позволяет избегать зависания глинистого материала и образования сводов в траншее, при этом обеспечивая необходимую плотность укладки.

В основании земляной плотины, перемычек котлованов здания ГЭС и водосливной плотины на строительстве ГЭС Ванапум (США) [149] была создана ПФЗ общей протяженностью 2,8 км, глубиной до 24,5 м и шириной 2-3 м [150]. Траншея разрабатывалась экскаватором-драглайном Манитовок-4500 и заполнялась противофильтрационным материалом, с помощью бульдозера Катерпиллар Д-9. Заполнение траншеи ПФМ производилось грунтом, насыщенным бентонитовым раствором и извлеченным на поверхность после проходки траншеи. На площадке вдоль траншеи извлеченный грунт перемешивался с малопроницаемым материалом, а затем подавался обратно в траншею.

Стоимость устройства траншейной глиногрунтовой стенки на данном объекте оказалась в 2-3 раза ниже по сравнению с инъекционной завесой и шпунтовой стенкой.

В результате проведенного анализа отечественного и зарубежного опыта использования местных полиминеральных глин (МПП) при создании противофильтрационных элементов способом «стена в грунте» можно подчеркнуть следующее:

- применение ПФМ из местных полиминеральных глин, обогащенных бентонитовым тиксотропным раствором, в процессе создания траншейных ПФЗ обеспечило надежную защиту при градиенте напора на сооружение  $I_0 = 50$ ;

- в то же время использование дефицитных дорогостоящих бентонитовых глин для приготовления ТР и ПФМ значительно повышало затраты на возведение ПФЗ и в целом влияло на конкурентоспособность, сужая область применения способа «стена в грунте» при строительстве противофильтрационных элементов (в частности, траншейных противофильтрационных завес);

- поиск замены дорогостоящих бентонитовых глин начался с первых дней освоения и внедрения способа «стена в грунте» в гидротехническом строительстве. На Чурубай-Нуруинском гидроузле впервые на опытно-производственном участке строящейся завесы траншея была успешно пройдена под защитой глинистого ТР из МПП, а затем заполнена ПФМ из комовых МПП [141, 142].

В дальнейшем полученный результат был подтвержден на опытно-производственных участках площадок строительства Киевской ГАЭС и Псковской ГРЭС.

Технико-экономическое обоснование устройства ПФЗ способом «стена в грунте» и комплексное использование МПП в технологии показало, что наиболее рациональным их применением является создание ПФЭ для экологической защиты:

- в дамбах вокруг отстойников и накопителей токсичных промышленных отходов;
- в плотинах - для защиты территорий от подтопления и потерь воды из водохранилищ.

Результаты исследований, которые представлены в настоящей работе, касаются изучения вопросов создания технически и экономически эффективных ПФЭ в грунтовых

сооружениях и их основаниях, снижения их стоимости, а также расширения географии использования способа «стена в грунте» и повышения его конкурентоспособности.

Для достижения этой цели ставится задача максимально возможного использования местных ресурсов, в нашем случае – комплексное использование МПГ карьеров.

В рамках достижения этой цели автором выполнены работы по научному обоснованию комплексного использования местных полиминеральных глин в строительстве ПФЭ способом «стена в грунте» [127]. Автором в процессе исследования решены следующие задачи:

- разработана аналитическая методика оценки качества МПГ [121, 127];
- разработана методика комплексного использования МПГ для создания ПФЭ способом «стена в грунте»;
- разработаны рекомендации на использование МПГ для разработки рецептур ТР;
- выполнено научное обоснование проектных решений при комплексном использовании МПГ для создания ПФЭ способом «стена в грунте» [121, 127].

#### **1.4. Анализ отечественной нормативно-методической документации, регламентирующей использование местных полиминеральных глин взамен бентонитовых глин для приготовления тиксотропных растворов и противofильтрационных материалов в технологии создания ПФЭ способом «стена в грунте»**

Первая противofильтрационная завеса (ПФЭ) из пластичного глинисто- и суглинисто-цементного материала выполнена способом «стена в грунте» на Чурубай-Нурином гидроузле в 1957-1959 гг. [141, 142].

Работа над первыми проектами ПФЭ осуществлялась при отсутствии профильной нормативной базы, поэтому за основу брались результаты лабораторных исследований, в рамках которых проводился подбор ПФМ и способов его подготовки с последующей проверкой уровня их технологичности на опытно-производственных захватках строящейся завесы.

Кроме того, строители и проектировщики использовали богатый опыт буровых работ в нефтяной и газовой промышленности [68, 69], где для бурения скважин применялись тиксотропные глинистые растворы, подготовка и оценка качества которых производились по известной нормативной методике, используемой в настоящее время в строительной практике при создании ПФЭ способом «стена в грунте» [61, 62, 121, 137].

По мере накопления опыта сооружения ПФЭ способом «стена в грунте» формировалась нормативно-методическая база, которая позволяла решать вопросы использования местных ресурсов в указанном способе строительства.

Первый норматив подготовлен и издан в начале 1970-х годов усилием трех НИИ: оснований и подземных сооружений (НИИОСП); гидромеханизации, санитарно-технических и специальных строительных работ (ВНИИГС); строительного производства (НИИСП) [96].

После выхода первого норматива в течение десятилетия были подготовлены и изданы ряд ведомственных нормативов [97, 98, 100, 101, 102], в которых содержались рекомендации по вопросам: проектирования, технологии производства работ, технологии приготовления ТР и ПФМ, использования оборудования для проходки траншей, контроля процесса строительства ПФЗ способом «стена в грунте». Благодаря созданной нормативной базе способ «стена в грунте» нашел широкое применение в ГТС.

В нормативах должное внимание уделено использованию местных полиминеральных глин в технологии создания траншейных стенок в качестве сырья для приготовления ПФМ.

В диссертации придается особое значение использованию тиксотропных растворов из МПГ в технологии для удержания стенок траншеи от обрушения, которое позволит резко сократить сроки строительства, снизить стоимость работ, сократить спрос на дорогостоящие материалы (шпунт, обсадные трубы), упростить и облегчить производство работ.

На некоторых объектах ГТС проводилось опытно-производственное внедрение тиксотропных растворов, приготовленных из местных полиминеральных глин (МПГ) [141, 144]. Эти работы доказали возможность замены бентонитовых глин местными полиминеральными глинами и способствовали совершенствованию нормативной базы в нормативах, изданных в последние годы.

В этих нормативах [22, 24, 25, 26, 28] прямо или косвенно рассматривается возможность и целесообразность использования МПГ в технологии создания ПФЗ в ГТС путем замены бентонитовых глин [30, 31, 94, 133, 134]. В итоге весь научно-производственный опыт использования МПГ, отраженный в указанных нормативах, был изложен в основном нормативном документе СП 45.13330, который используется сегодня в ГТС.

Проведенный автором анализ нормативной базы, публикаций в журналах и научной литературе, посвященных опыту комплексного использования МПГ в технологии создания ПФЗ, показал, что он не нашел широкого применения в гидротехническом строительстве. По результатам проведенной аналитической работы были определены причины, сдерживающие применение МПГ в технологии создания ПФЗ, к которым, в частности, относится отсутствие профильного отраслевого норматива на использование грубодисперсных местных полиминеральных глин (МПГ). В нем надо отразить (показать) особенности и отличия (в сравнении с бентонитовыми глинами) оценки качества МПГ, а также особенности технологии их подготовки и производства работ при возведении ПФЭ в ГТС.

К особенностям технологии подготовки относятся:

- способ обработки грубодисперсных МПГ для получения качественного сырья и подготовки на его основе ТР и ПФМ;
- методы и способы приготовления ТР из грубодисперсных МПГ, а также способы регулирования их качества;
- критерии (показатели параметров МПГ) предварительной (без проведения лабораторных исследований) оценки качества карьерных МПГ и возможность их использования при выборе проектировщиком варианта сооружения на стадии ТЭО или ТЭР;
- критерии, ограничивающие использование ТР из МПГ при проходке траншеи;
- критерии, влияющие на выбор траншеепроходческих машин и оборудования для оснащения растворного узла при использовании грубодисперсных МПГ;
- технология подготовки МПГ и их комплексное использование для создания ПФЗ способом «стена в грунте» [121, 127];
- требования к качеству производства работ с учетом комплексного использования МПГ в технологии создания ПФЗ способом «стена в грунте» [121, 127].

Кроме того, в действующих нормативах не указаны:

- область рационального использования МПГ при сооружении ПФЗ способом «стена в грунте» и ограничения их применения в технологии;
- данные о карьерах МПГ в районе (регионе) строительства ПФЗ, к которым относятся: степень разработки карьера, запасы грунтов, паспортные данные физико-механических характеристик грунтов (Приложение 1).

Все перечисленные проблемы исключают возможность успешного использования МПГ при сооружении надежных ПФЭ в ГТС и возможность принятия объективного решения при выборе варианта противодиффузионной защиты. Указанные причины вызывают необходимость обновления и совершенствования существующей нормативной базы для создания ПФЗ с учетом комплексного использования МПГ.

Для решения поставленной задачи автором на первом этапе подготовлен к изданию проект рекомендаций – «Разработка рекомендаций по подбору и регулированию свойств глинистых растворов, приготовленных на основе местных полиминеральных глин» [121, 127].

Проект рекомендаций заслушан/одобрен на:

- Ученом Совете АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»;
- заседании научно-технического совета АО «НИЦ «Строительство» (Москва) 15 ноября 2019 года.

В проекте рекомендаций даны:

- методика предварительной оценки качества глинистых грунтов (МПГ) по паспорту карьера;

- перечень критериев оценки качества МПГ по паспорту карьера: грансостав, физико-механические характеристики, оценка экономических показателей карьера и условий его эксплуатации. Приведенные выше данные необходимы проектировщику для предварительной оценки возможности использования МПГ на стадии ТЭР или ТЭО без проведения лабораторных исследований;

- требования к глинистым тиксотропным растворам из МПГ;

- способы подготовки МПГ карьеров для получения качественных ТР и управления их характеристиками;

- технология приготовления ТР и ПФМ на основе МПГ и используемое современное оборудование, состав растворного узла;

- контроль качества ТР, приготовленных из МПГ.

В таблице 1.3 приведена малая часть нормативов из созданной за последние годы нормативной базы. В этих нормативах отражены пути совершенствования технологии создания ПФЭ способом «стена в грунте» за счет создания новых траншеепроходческих машин, совершенствования оборудования для растворных узлов, появления новых, более совершенных противofiltrационных материалов и тиксотропных растворов. Последние являются основой технологического процесса создания заглубленных сооружений способом «стена в грунте».

Что касается вопроса использования местных полиминеральных глин - в таблице 1.3 рекомендации по применению МПГ для приготовления ТР и ПФМ представлены в такой редакции: «при отсутствии бентонитовых глин», «в неотчетственных случаях», «допускается применять». Практически во всех нормативах так ставится вопрос о применении МПГ для указанной цели. Это создает иллюзию у строителей и проектировщиков о возможности простой замены качественной и дорогостоящей бентонитовой глины дешевыми местными полиминеральными глинами, не требующими особой подготовки и обработки.

В седьмой графе «в проекте рекомендаций» указаны пути совершенствования и возможности комплексного использования МПГ, которые являются целью этой работы.

Таблица 1.3 - Сравнительный анализ требований к МПГ для приготовления ТР и к ТР, приготовленным на основе МПГ, изложенных в профильных нормативных документах

Критерии качества МПГ и ТР	Организация-разработчик и название нормативного документа					
1	2	3	4	5	6	7
		<p>1. Научно-исследовательский институт оснований и подземных сооружений (НИОСП)</p> <p>2. Всесоюзный научно-исследовательский институт гидромеханизации, санитарно-технических и специальных строительных работ (ВНИИГС)</p>	<p>Всесоюзный научно-исследовательский институт гидромеханизации, санитарно-технических и специальных строительных работ (ВНИИГС)</p>	<p>ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет». Утвержден и введен в действие национальным объединением строителей, г. Москва</p>	<p>Научно-исследовательский проектно-изыскательский и конструктивно-технологический институт оснований и подземных сооружений им. Н.М. Герсеванова - филиал ФГУП «НИЦ «Строительство»»</p>	<p>Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники им. Б.Е. Веденеева» Разработан: «Проект рекомендаций по использованию местных полиминеральных глин для создания тиксотропных растворов в строительстве способом «стена в грунте». НИОКР, 2019 1. Заслушан и утвержден НТС АО «НИЦ «Строительство» от 15.11.2019. 2. Утвержден на Ученом Совете АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева».</p>
		<p>«Рекомендации по технологии устройства подземных сооружений методом «стена в грунте» [96]. Москва, 1979 г.</p>	<p>«Руководство по применению глинистых и тампонажных растворов при строительстве способом «стена в грунте» [101]. Москва: ЦБНТИ, 1977, 36 с.</p>	<p>СТО НОСТРОЙ 2.5.74 - 2012 г. «Устройство «стены в грунте». Правила, контроль выполнения и требования к результатам работ» [133]. Москва, 2014 г.</p>	<p>СП 45.13330.2017 «Земляные сооружения, основания и фундаменты». Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87 [129].</p>	
<p>1. Требования к качеству местных полимерных глин (МПГ), используемых для приготовления тиксотропных растворов (ТР)</p>		<p>Стр. 13, гл. III, п. 3.3: «Для приготовления глинистых растворов следует применять бентонитовые глины, а при их отсутствии - качественные небентонитовые, т.н. местные глины» [96]. Стр. 14, п.3.8: «Глины, отбираемые для приготовления глинистых растворов должны иметь [96]: 1. Плотность <math>\rho = 2,7-2,75 \text{ г/см}^3</math> [96]; 2. Число пластичности - не менее 20% [96]. 3. Гранулометрический состав: - песчаные частицы 1-0,5 мм <math>\leq 10\%</math> [96]; - глинистые частицы <math>&lt; 0,005 \text{ мм} - \geq 30\%</math> [96]; - глинистые частицы <math>&lt; 0,001 \text{ мм} - \geq 10\%</math> [96]. 4. Набухание <math>\geq 15\%</math> [96]. 5. Влажность грунта <math>\geq 25\%</math> [96]. Допустимо содержание небольшого количества частиц до 2 мм» [96].</p>	<p>Стр.4, п. 2.2: «Для получения высококачественных ТР более всего пригодны бентонитовые глины [101]. В неотвественных случаях можно применять МПГ, в которых содержится [101]: 1. Глинистых частиц: <math>d \leq 0,005 \text{ мм} - \geq 40\%</math> [101]; <math>d \leq 0,001 \text{ мм} - \geq 10\%</math> [101]; 2. Пластичность - <math>\geq 20\%</math> [101]; 3. Влажность - <math>\geq 0,25</math>» [101]. п. 2.3: «Глины в зависимости от расхода на приготовление 1 м<sup>3</sup> раствора заданной вязкости 25 с. делятся на 4 сорта [101]: 1-й с. расход - до 120 кг - плотность до 1,07 г/см<sup>3</sup> [101]; 2-й с. расход - 120-250 кг - плотность 1,07-1,15 г/см<sup>3</sup> [101]; 3-й с. расход-250-400 кг - плотность 1,15-1,25 г/см<sup>3</sup> [101]; 4-й с. расход &gt; 400 кг - плотность 1,25 г/см<sup>3</sup>» [101].</p>	<p>Стр. 19, п. 6.2.4: «Для приготовления тиксотропных растворов допускается применять местные глины, имеющие по лабораторным исследованиям следующие характеристики [133]: - плотность частиц <math>\rho = 2,71-2,75 \text{ г/см}^3</math> [133]; - число пластичности <math>I_p</math>, д.е., не менее 0,2 [133]; - влажность на границе раскатывания <math>w_p</math>, д.е., не менее 0,25 [133]; - набухание не менее 15 % [133]; - содержание глинистых частиц, размером до 0,001 мм - не менее 10 %, до 0,005 мм - не менее 40 % [133].</p>	<p>п. 14.1.8: «Для приготовления глинистых растворов (глинистых суспензий) должны использоваться бентонитовые глины, а при их отсутствии - местные глины, удовлетворяющие требованиям, приведенным в табл. 14.1 [129]: 1. Число пластичности - <math>\geq 0,2</math>; 2. Содержание частиц размером: крупнее 0,05 мм - <math>\leq 10\%</math> [129]; менее 0,005 мм - <math>\geq 30\%</math> [129]; менее 0,001 мм - <math>\geq 10\%</math> [129]. Табл. 14.8: Допустимый градиент напора для ПФЗ из комовых глин <math>I_0 = 30</math> [129]. п. 14.4.5: При создании ПФЗ используется ПФМ из комовой глины, которая должна быть «плотной, медленно размокаемой в воде, иметь выраженную комовую структуру в насыпи [129]. Основная масса комьев должна быть размером не менее 10 см, максимальный размер комьев не должен превышать 1/3 ширины траншеи, природная влажность должна быть близка к пределу раскатывания, консистенция твердая, полутвердая или тугопластичная» [129]. п. 14.4.6: «Для приготовления глиноцементного раствора применяют глины и суглинки с содержанием не менее 30% частиц размером менее 0,05 мм, &lt;...&gt;» [129].</p>	<p>Для приготовления глинистых тиксотропных растворов (ТР) и противофильтрационных материалов (ПФМ) необходимо использовать местные полиминеральные глины (МПГ). 1. На первом этапе при выборе глинистого сырья по паспорту карьера необходимо определить: - координаты расположения карьера и его удаленность от стройплощадки; - степень промышленного освоения карьера; - целевое назначение карьера (производство, кирпича, керамики и т.д.); - запасы глинистого сырья; - способ разработки глин карьера; - наличие производства глинопорошков; - фактическая стоимость 1м<sup>3</sup> глины; - годовая добыча глин. 2. На втором этапе - по паспортным данным карьера предварительно оцениваем качество глин карьера. В составе паспорта карьера содержится информация о следующих характеристиках глин: 2.1. Грансостав; 2.2. Физико-механические характеристики: - верхний предел пластичности, %; - нижний предел пластичности, %; - пластичность, %; - плотность, г/см<sup>3</sup>; - набухание, %. 2.3. Химсостав. Приведенные данные о карьере глинистых грунтов необходимы проектировщику для выбора оптимального варианта сооружения на стадии ТЭО или ТЭР.</p>
<p>2. Требования к глинистым тиксотропным растворам (ТР), приготовленным из МПГ</p>		<p>Стр. 14, п. 3.9: «Окончательно о пригодности глин для приготовления глинистых растворов судят по их эксплуатационным параметрам: - вязкость - 18-50 сек [96]; - отстой - <math>&lt; 4\%</math> [96]; - стабильность - 0,02 г/см<sup>3</sup> [96]; - содержание песка, <math>\leq 4\%</math> [96]; - водоотдача, 30см<sup>3</sup>/30мин мин; - толщина глинистой корки, <math>\leq 4 \text{ мм}</math> [96]; - СНС - 10-50 мг/см<sup>2</sup> через 10 мин» [96]; п. 3.16: «Следует стремиться к получению минимальных величин: - отстоя [96]; - толщины корки [96]; - стабильности [96]; - содержания песка [96]. При соблюдении пределов остальных параметров» [96].</p>	<p>п.3.4: «Растворы из местных глин проявляют тиксотропные свойства при содержании твердой фазы от 20 до 50%» [101]. п. 3.22: «Для проходки траншей рекомендуется применять глинистые растворы со следующими параметрами [101]: - условная вязкость - 18-30 сек [101]; - водоотдача, 22см<sup>3</sup>/30мин [101]; - толщина глинистой корки - до 3 мм [101]; - стабильность - до 0,02 г/см<sup>3</sup> [101]; - отстой воды - до 3% [101]; - СНС - 10-60 мг/см<sup>2</sup> [101]; - содержание песка - до 4% [101]; - pH = 8-11,5» [101].</p>	<p>Стр. 20, табл. 6.2: «Свойства суспензии из местных глин [133]: - плотность раствора - 1,10 - 1,30 г/см<sup>3</sup> [133]; - содержание песка - не более 4% [133]; - вязкость по СПВ-5 - 18-30 с [133]; - стабильность - не менее 0,02 г/см<sup>3</sup> [133]; - суточный отстой воды - не более 4% [133]; - водоотдача за 30 мин - не более 30 см<sup>3</sup> [133]; - толщина глинистой корки - не более 4 мм [133]; - статическое напряжение сдвига (СНС) - 0,1-0,5 Па» [133].</p>	<p>п. 14.9: «Приготовленный глинистый раствор должен удовлетворять требованиям, изложенным в таблице 14.2 [129]: 1. Плотность раствора: из бентонитовых глин - от 1,03 до 1,10 г/см<sup>3</sup> [129], из местных глин - от 1,10 до 1,30 г/см<sup>3</sup> [129]. 2. Содержание песка - не более 4%; 3. Вязкость по СПВ-5 - от 18 до 30 с [129]; 4. Стабильность - не более 0,02 г/см<sup>3</sup>; 5. Суточный отстой воды - не более 4% [129]; 6. Водоотдача за 30 мин - не более 30см<sup>3</sup> [129]; 7. Толщина глинистой корки, <math>\leq 4 \text{ мм}</math> [129]; 8. СНС через 10 мин - от 0,1 до 0,5 Па [129]; 9. Водородный показатель реакции среды (pH) - от 8 до 11» [129].</p>	<p>3 этап. После предварительной оценки качества глин карьера выполняются лабораторные исследования с целью определения качества ТР, приготовленных из МПГ, которое оценивается с помощью нормируемых параметров в табл. 14.2 [129]. В процессе лабораторных исследований определяют соответствие качества ТР нормативным параметрам. По результатам анализа проведенных исследований определяются параметры ТР, не отвечающие нормативным требованиям. По этим параметрам определяются способы улучшения качества растворов, которые используются при разработке рецептур ТР. К этим способам относятся: отделение примесей (песок, пылеватые частицы) - различными способами - отстаиванием, гидратацией, механической обработкой, а также введением химвыводов.</p>



### **1.5. Анализ и обобщение выполненных ранее научно-исследовательских работ по использованию местных полиминеральных глин в технологии строительства ПФЗ способом «стена в грунте»**

Первой представлена диссертация К.А. Логинова, защищенная в 1975 году под руководством профессора, д.т.н. А.Н. Адамовича, по теме «Формирование физико-механических и фильтрационных свойств противofильтрационной стенки из комовой глины» [58, 59], в которой изучается вопрос об использовании местных полиминеральных комовых глин в создании ПФЗ в ГТС способом «стена в грунте».

В работе основное внимание уделено исследованию процессов формирования физико-механических и фильтрационных свойств материала траншейной стенки толщиной 0,5-0,6 м, создаваемой из комовой глины, которая является наиболее «экономичным видом» материала, используемого для создания ПФЗ, а также тиксотропного раствора. Проведены исследования степени влияния ПФМ и ТР на формирование тела завесы в зависимости от их качества.

Вопрос является актуальным и сегодня, так как в таких узких и глубоких траншеях при создании пластичной ПФЗ необходимо решать вопросы обеспечения сплошности тела завесы, ее фильтрационной прочности и проницаемости, а также ее деформаций.

В работе изучены условия и закономерности образования в траншее из комьев глины и глинистого раствора сплошного однородного по проницаемости и противofильтрационной устойчивости тела завесы при допустимом градиенте напора -  $I_0$ . Выполненные исследования и полученные на их основе результаты имели большое практическое значение для создания нормативов, практики проектирования и строительства.

Исследования проводились с учетом технологии проходки траншей специализированными агрегатами, образующими полость траншеи шириной 0,5-0,6 м и с учетом применения простейшей (наиболее производительной и экономичной) технологии укладки путем сброса комовых глин с торца траншеи бульдозером или экскаватором. При таком способе заполнения, как показала практика, вмещаемый объем сбрасываемой комовой глины в траншею зависит от свойств глины, глинистого раствора и от производительности заполнения траншеи.

Рассматриваемая в диссертационной работе технология проходки траншей шириной 0,5-0,6 м и способ заполнения ее комовыми глинами (МПГ), как впоследствии показала практика, получили наибольшее признание при создании ПФЗ большой протяженности на открытых площадках для экологической защиты от загрязнения водных ресурсов страны.

В то же время технология создания ПФЗ большой протяженности на местности с разновысокими отметками и уклонами более 3° рождает новые проблемы, которые связаны с

ростом объемов земляных работ и усложнением технологии проведения комплекса работ, связанных с проходкой траншеи под защитой ТР и заполнением ее ПФМ. Указанные проблемы требуют новых технических решений и исследований.

Анализ литературных источников показал, что изучение закономерности формирования тела стенки в траншее, заполненной глинистым раствором [86] и комовыми глинами, необходимо рассматривать комплексно, изучая влияние каждого из компонентов на качество формирования сплошности и однородности стенки [13, 16, 58, 85, 159, 160].

На основе проведенных обширных лабораторных исследований дается развернутая картина процесса формирования из комьев глины и глинистого раствора сплошного, однородного по проницаемости тела противofильтрационной завесы и ее качественных характеристик. В частности, дается оценка влияния тиксотропного раствора на процесс формирования и качество материала ПФЗ.

Так, например, по результатам исследований степени и интенсивности набухания образцов глин различного минералогического состава в глинистом растворе установлено, что набухание в значительной степени зависит от плотности тиксотропного раствора. Это означает – чем меньше плотность раствора, тем выше содержание свободной воды в ТР, в результате это приводит к росту показателей набухания комовых глин, а в конечном итоге - к интенсивности процессов формирования и улучшению физико-механических свойств материала ПФЗ.

В условиях, близких к реальным, изучался процесс набухания полиминеральной глины (смесь различных минералов с преобладанием монтмориллонита) в тиксотропном растворе из бентонитовых глин. Для повышения интенсивности набухания в раствор ввели  $Na_2CO_3$  (кальцинированная сода) – 1%; 3%; 5%; 10%. Результаты исследований показали, что интенсивность набухания глин в ТР с 5% добавкой  $Na_2CO_3$  в определенный промежуток времени увеличивается на 10%.

Приведенные примеры показывают роль ТР совместно с комовыми глинами в процессах формирования противofильтрационного материала траншейных завес. Результаты экспериментов косвенно указывают на необходимость проведения исследований по улучшению качества ТР, получаемых на основе местных полиминеральных глин [146].

Улучшение качества ТР из МПГ в исследованиях будет сводиться к разработке рецептур с минимально возможной плотностью раствора, полученного за счет расширения ассортимента химдобавок и совершенствования технологического процесса приготовления их на растворном узле. Это даст возможность комплексно использовать МПГ для создания ПФЗ в ГТС и успешно решить поставленные задачи в этой работе.

Разработанная технология по формированию тела ПФЗ и материалы, полученные в экспериментальных исследованиях, прошли испытание в натуральных условиях на строительстве

Киевской ГАЭС для создания ПФЗ в дамбах обвалования верхнего бассейна. По проекту «Гидроспецпроекта» основное назначение завесы – уменьшение потерь воды из верхнего бассейна. Общая длина траншейной завесы составила 3050 м, общая площадь – 60100 м<sup>2</sup> (участок с ПФЗ из МПГ: длина - 1000 м, площадь - 19000 м<sup>2</sup>).

По результатам анализа натуральных исследований представлены следующие практические выводы:

1. Образование сплошного тела траншейной завесы шириной 0,5 м обеспечивается при условии заполнения до 70% объема траншеи комовой глиной.

2. Плотность тиксотропного раствора в процессе проходки и заполнения траншеи глиной составляет в среднем 1,25 г/см<sup>3</sup>. Это объясняется вытеснением тяжелого загрязненного раствора из глубины к верху траншеи.

3. Омоноличивание стенки завершается в течение 2-3 недель. Процесс совершается за счет оттока воды и уменьшения бокового давления заполнителя и горизонтальной деформации [114].

4. Под действием собственного веса, бокового давления грунта и фильтрационного напора происходит уплотнение, которое завершается в течение полугода из-за арочного эффекта.

5. Образование сводов снижает объем глины в траншее и, как следствие, резко ухудшает физико-механические и фильтрационные свойства траншейной завесы. Для предотвращения образования сводов в траншее необходимо проведение следующих мероприятий в процессе подготовки ПФМ:

- регулирование влажности комьев глины перед заполнением траншеи, которая должна быть меньше предела раскатывания, при котором нет слипания комьев и, следовательно, образования крупных монолитов.

- регулирование объема разовых порций перед заполнением траншеи глиной с учетом влажности и корректировок в процессе заполнения траншеи;

- нельзя допускать воронкообразного расширения верхней части траншеи, которое является причиной зависания комьев глины.

Интерес представляет и диссертационная работа В. М. Андреева «Совершенствование технологии устройства тонких противофильтрационных завес». Работа посвящена повышению эффективности ПФЗ за счет применения в качестве ПФМ глиногрунтовых паст, что дает возможность создавать тонкие ПФЗ толщиной до 0,15 м, используя для этого гибкий режущий орган – канат с резцами-насадками для образования узких щелей.

Рассматриваемая работа косвенно касается наших вопросов. В частности, противофильтрационных материалов – глиногрунтовой пасты и ее высокой эффективности.

Добавка 3,5-4,5% силиката натрия от массы суглинка или глины способствует повышению допустимых градиентов напора ( $I_0$ ) для ПФЗ в 2,5-3 раза, а водонепроницаемости заполнителя завесы – в 8-10 раз [3].

Определенный интерес представляет также диссертационная работа Наумова С.В. «Совершенствование методики оценки физико-механических и технологических свойств строительных глин». Целью диссертации является снижение затрат и повышение качества оценки физико-механических и технологических свойств строительных глин за счет совершенствования методик [71]. Эта проблема касается важных практических вопросов нашей работы при выборе глин карьера и оценки их качества, которые являются составной частью методики комплексного использования МПГ.

Автор во главу угла при оценке качества физико-механических и технологических свойств глин ставит уровень естественной влажности, которая определяет их специфические свойства: пластичность, поровое давление, набухаемость, тиксотропность, растекаемость.

В нашей работе при создании траншейной глиногрунтовой ПФЗ указывается, что уровень влажности глин влияет на ее качество. Из-за повышенной влажности комовых глин, которые при заполнении траншеи слипаются и зависают, нарушается процесс формирования и уплотнения тела диафрагмы, вследствие чего снижается ее противofильтрационная устойчивость.

## 1.6. План исследования

На основе результатов анализа и обобщения опыта использования МПГ в проектировании и строительстве гидротехнических сооружений и сооружений инженерной защиты, выполняемых способом «стена в грунте», а также с учетом систематизации выявленных проблем, препятствующих внедрению МПГ в практику гидротехнического строительства, автором разработан план исследования. На блок-схеме (рисунок 1.4) представлена последовательность решения задач и их взаимосвязь с результатами исследований.



Рисунок 1.4 - Блок-схема плана исследований

**Выводы по Главе 1:**

1. Выполнен анализ текущего состояния и определены актуальные направления развития технологии создания заглубленных сооружений, противофильтрационных элементов и несущих конструкций способом «стена в грунте» в ГТС и гражданском строительстве

Установлено, что способ «стена в грунте» начал применяться в строительстве в середине XX века. Расширение области использования этой технологии в строительстве было связано с развитием парка специальных машин, появлением новых технологий и материалов.

В 1970-х гг. появились траншеепроходческие машинокомплексы для проходки траншей глубиной до 50 м (СВД-500Р, грейферы, УКС с глубиной проходки до 100 м).

2. Установлено, что самым узким местом явилось несоответствие технических и технологических возможностей современных высокопроизводительных траншеепроходческих

машин различной модификации, высокооснащенных растворных узлов и заводов по производству материалов - ТР, ПФМ, ГЦБ, средств контроля качества создаваемых объектов - существующему уровню принятия новых разработок в технологии и созданных новых материалов при проектировании. Особенно при проектировании ПФЗ большой протяженности для экологической защиты подземных вод. Альтернативы применению МПГ на этих объектах нет.

3. Проведен анализ нормативной документации и специальной литературы по технологии создания ПФЭ способом «стена в грунте», основанной на комплексном использовании МПГ. По результатам анализа установлены причины не востребоваемости МПГ в строительстве ПФЭ способом «стена в грунте»:

- полное отсутствие положений, указаний, нормативных требований для комплексного использования МПГ в технологии строительства способом «стена в грунте» ПФЭ большой протяженности в ГТС;

- отсутствуют объективные критерии оценки качества МПГ, которые учитывали бы особенности работы с ними на различных технологических этапах создания гидротехнических сооружений и сооружений инженерной защиты, выполняемых способом «стена в грунте» - начиная с анализа показателей характеристик и заканчивая приготовлением ТР и ПФМ.

4. Не обозначены границы применимости и области наиболее эффективного использования МПГ в строительстве способом «стена в грунте».

5. В действующих нормативах отсутствуют информация о разведанных месторождениях и действующих карьерах глинистых грунтов (МПГ) и алгоритм анализа этой информации.

6. Выявлены и проанализированы возможные проблемы при комплексном использовании МПГ в технологии создания ПФЗ способом «стена в грунте».

7. Выявлено отсутствие конструктивных и технологических решений для возведения гидротехнических сооружений и сооружений инженерной защиты (противофильтрационные завесы) большой протяженности (1-10 км) способом «стена в грунте» на местности с разновысокими отметками и с уклоном, превышающим нормативные 3°.

8. В проанализированных документах не обнаружено примеров внедрения полного технологического цикла комплексного использования МПГ в проектировании и строительстве гидротехнических сооружений и сооружений инженерной защиты [66], выполняемых способом «стена в грунте».

9. На основе проведенного в Главе 1 анализа сформулированы задачи диссертации, составлен план исследований, направленный на достижение заявленной цели.

## **Глава 2. АНАЛИТИЧЕСКИЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ МЕСТНЫХ ПОЛИМИНЕРАЛЬНЫХ ГЛИН ВЗАМЕН БЕНТОНИТОВЫХ ГЛИН В ТЕХНОЛОГИЮ СТРОИТЕЛЬСТВА ПФЗ СПОСОБОМ «СТЕНА В ГРУНТЕ»**

Как показано в Главе 1, в истории отечественного гидротехнического строительства изучалась возможность замены бентонитовых глин местными полиминеральными глинами (МПГ) в технологии строительства гидротехнических сооружений и сооружений инженерной защиты, выполняемых способом «стена в грунте»:

- комплексное использование МПГ в технологии для приготовления ТР и ПФМ на опытном участке при строительстве траншейной завесы способом «стена в грунте» на Чурубай-Нуринском гидроузле [32, 141];

- опытно-производственное освоение тиксотропных растворов из МПГ в технологии создания ПФЗ: на Киевской ГАЭС, Псковской ГРЭС и других объектах [142, 144].

Опытно-производственное внедрение МПГ на указанных объектах стало очередным доказательством возможности их эффективного применения в технологии «стена в грунте», но, к сожалению, этот опыт не получил дальнейшего развития в ГТС.

Одной из главных причин невостребованности МПГ в технологии строительства ПФЗ способом «стена в грунте» является отсутствие объективных критериев оценки качества МПГ, определение которых позволит усовершенствовать и более эффективно использовать действующие профильные нормативы.

Проблема отсутствия в нормативах, регламентирующих использование МПГ при создании ПФЭ способом «стена в грунте», объективных критериев оценки качества МПГ приводит к снижению конкурентоспособности технологии вследствие фактически безальтернативного использования дорогостоящих привозных бентонитовых глин, стоимость которых составляет 30-35% от общей стоимости строительства завес и несущих конструкций, возводимых с использованием технологии «стена в грунте» [67, 121, 127, 141].

Анализ литературных источников, публикаций и действующих нормативов, который приведен в Главе 1, показал, что в случае с бентонитовыми глинами для принятия решения об их использовании в проекте необходим лишь один нормативный документ [137], в котором приводятся сведения о месторождениях бентонитовых глин и заводах по производству глинопорошков различных марок и сортов, а также их стоимость [56, 97].

Для сравнения рассмотрим выдержку из текста проектной документации «Выполнение технико-экономических расчетов (ТЭР)», в которой приводится обоснование для использования местных полиминеральных глин (МПГ) в создании ПФЗ способом «стена в грунте».

Текст приводится дословно: *«Между ПФЗ, выполненной по методике «стена в грунте» из бентонитового материала и выполненной из местных глин, наиболее эффективным является решение с использованием заводских материалов (имеется в виду бентонитовый глинопорошок заводского изготовления). Поскольку информация о карьерах глин надлежащего качества и необходимого объема отсутствует - не рекомендуется рассматривать вариант «стенки в грунте» из естественных местных глин как основной».*

Безусловно, проектировщик, принявший такое решение, формально прав, так как доступной информации о карьерах глинистых грунтов (МПП) и об их качестве нет в широком доступе. Этот пример подтверждает актуальность поднятой проблемы.

С учетом этого для разработки методики оценки качества МПП на первом этапе должна быть решена актуальная задача обеспечения доступа к информации о действующих и разведанных карьерах глинистых грунтов «надлежащего качества» и «необходимых объемов» с целью оценки качества глинистых грунтов карьеров.

## **2.1. Определение критериев оценки качества местных полиминеральных глин, используемых взамен бентонитовых глин на технологических этапах проходки траншеи и ее заполнения противодиффузионными материалами**

Для разработки методики оценки качества МПП, не требующей предварительных лабораторных исследований, которая дает возможность обосновать внедрение в практику строительства широко распространенных МПП, привлечены материалы изысканий Северо-Западного геологического управления (СЗ ГУ). Для исследования материалов и проведения аналитической работы по изучению физико-механических характеристик, гранулометрического, химического и минералогического состава использовались паспортные данные карьеров глинистых грунтов 14 разведанных месторождений Ленинградской области.

Исследования глинистых грунтов карьеров по паспортным данным и анализ их результатов дали возможность выделить основные показатели характеристик МПП, которые имеют наибольшее влияние на их качество и служат критериями оценки качества. Систематизированные единые критерии, выбранные по паспортным данным карьеров глинистых грунтов, станут основой новой методики оценки пригодности МПП для их применения в технологии создания ПФЗ способом «стена в грунте».

В результате аналитических исследований глинистых грунтов по паспортным данным изучены показатели характеристик и их влияние на качество глин карьеров, а также выделены наиболее значимые показатели, которые представлены в виде трех блоков характеристик:

Блок 1 - физико-механические характеристики;



Блок 2 - гранулометрический состав;

Блок 3 - химико-минералогический состав.

Каждый блок представлен наиболее значимыми показателями характеристик, которые в совокупности оказывают наибольшее влияние на качество глинистых грунтов. Количество показателей характеристик в блоке оптимально и достаточно для предварительной оценки качества МПГ изучаемого месторождения.

#### 1. Физико-механические характеристики

В блоке 1 таблицы 2.1.1 представлены показатели физико-механических характеристик глинистых грунтов исследуемого месторождения (карьера). В состав характеристик входят:

- число пластичности  $I_p$ ;

- влажность  $W$ .

*Число пластичности (позиция 1.1)* является одним из основных критериев оценки качества местных полиминеральных глин. По значению числа пластичности можно определить разновидность глинистых грунтов:

при  $I_p > 17\%$  - глины;

при  $7\% < I_p \leq 17\%$  - суглинки;

при  $1\% \leq I_p \leq 7\%$  - супесь.

Кроме того, число пластичности косвенно указывает на минералогический состав глин по таким признакам: степени дисперсности, гидрофильности глинистой фракции, коллоидной активности ( $A_k$ ).

По числу пластичности можно дать только предварительную оценку качества глинистого грунта, так как на показатель пластичности влияют многие факторы: минералогический состав, гранулометрический состав, емкость обмена и т.д. [4, 22]. При оценке качества МПГ необходимо учитывать совокупность всех показателей характеристик, представленных в паспорте месторождения (карьера).

Таблица 2.1.1 - Систематизированные единые критерии для оценки качества глинистых грунтов по показателям паспортных данных карьеров МПГ их характеристик

Блок 1	Физико-механические характеристики	Единица измерения	Значение показателя (паспортные данные карьера)	Среднее значение показателя	Показатели характеристик МПГ и гидрослюдистых глин		Регламентирующие нормативные документы
					Нормативный показатель	Предельное значение	
Показатели характеристик 1-го блока	1.1. Пластичность	%			$\geq 20\%$	17÷27%	СП45.13330.2017 ГОСТ 5180-2015 ГОСТ 25100-2020 (табл. Б.17)
	1.2. Влажность	%			Для ТР - 5÷20% Для ПФМ - 5÷25%	5÷25%	ГОСТ 30416-2020
Блок 2	Гранулометрический состав	Диаметр частиц, мм	Содержание фракции, %	Среднее значение показателя	Нормативный показатель	Предельные значения	Регламентирующие нормативные документы
Показатели характеристик 2-го блока	2.1. Глинистые	0,001 0,001÷0,005			$\geq 40\%$	60÷30%	СП45.13330.2017 ГОСТ12536-2014
	2.2. Пылеватые фракции	0,005÷0,01			$\leq 30\%$		не влияют на технологический процесс
	2.3. Крупные пылеватые фракции	0,01 ÷ 0,05			Вредные примеси, которые необходимо удалить гидратацией	$\leq 15\%$	ГОСТ 12536-2014
	2.4. Мелкозернистые пылеватые пески	0,05 ÷ 0,1					
	2.5. Песок крупный	0,2÷1					
Блок 3	Химико-минералогический состав	Единица измерения	Значение показателя	Среднее значение показателя	Усредненный химический состав гидрослюдистых МПГ	Дополнительные критерии предварительной оценки качества МПГ на основе анализа химико-минералогического состава	
Показатели характеристик 3-го блока	3.1. $SiO_2$	%			47-55%	1. Повышенное содержание $Fe_2O_3$ и $K_2O$ присуще гидрослюдистым глинам и МПГ. 2. Повышенное содержание $SiO_2$ , $Al_2O_3$ , $CaO$ , $MgO$ является признаком наличия высокого процента содержания глинистой фракции 0,001÷0,005 мм в МПГ. 3. Повышенное содержание $SiO_2$ и низкое содержание $Al_2O_3$ и $Fe_2O_3$ присуще суглинкам при сравнительном анализе проб глин и суглинков.	
	3.2. $Al_2O_3$	%			23-33%		
	3.3. $TiO_2$	%			< 1%		
	3.4. $Fe_2O_3$	%			1-10%		
	3.5. $CaO$	%			0,15-1,2%		
	3.6. $MgO$	%			1-3%		
	3.7. $K_2O$	%			3-8%		
	3.8. $Na_2O$	%			-		

*Влажность (позиция 1.2).* Величина влажности МПГ зависит от их минералогического и гранулометрического состава, а также от уровня грунтовых вод в карьере. При предварительной оценке качества глинистых грунтов по показателю влажности необходимо учитывать, что повышенная влажность характерна для насыщенных  $Na^+$  диспергированных глинистых (натриевые глины) грунтов, которые содержат много связанной воды. И наоборот - насыщенные  $Ca^+$  (кальциевые глины) глинистые грунты обладают более низкой влажностью [60]. Чем выше показатель влажности  $W$  и влажности верхнего предела пластичности  $W_L$ , тем выше дисперсность, гидрофильность и набухание глинистого грунта.

Качественный тиксотропный раствор из бентонитовых глин может быть получен, например, при естественной влажности глины  $W \leq 8\%$  и влажности верхнего предела пластичности  $W_L \geq 60\%$ .

Естественная влажность является важным косвенным показателем для вычисления объемной массы грунта, пористости, степени влажности. Величина влажности зависит от минералогического и гранулометрического состава грунта, положения уровня грунтовых вод в карьере и пористости.

При прочих равных условиях бентонитовые глины имеют наибольшую влажность, гидрослюдистые - значительно меньшую, каолинистые - наименьшую. Это один из важных признаков, на который необходимо обращать внимание при предварительной оценке качества МПГ. Самая высокая степень влажности присуща глинистым грунтам, залегающим ниже уровня грунтовых вод [129]. Показатель влажности в этих условиях колеблется от 80 до 100%.

Нормативный показатель естественной влажности глинистых грунтов составляет 5-25%. В настоящее время разработано несколько методов определения влажности. Одним из основных является весовой метод, определяемый по ГОСТ 30416-20. Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения [23].

Использование глинистого грунта нормативной влажности (5-25%) для приготовления ТР и ПФМ позволяет оптимизировать технологический процесс создания ПФЗ способом «стена в грунте» [121]:

- из технологического процесса исключается подсушивание глинистого грунта, связанное с необходимостью отведения больших площадей вдоль трассы завесы для складирования глинистого грунта и его обработку;

- использование глинистых грунтов нормативной влажности способствует росту набухания комьев глин в глинистом растворе при заполнении траншеи, благодаря чему ликвидируются пустоты между комьями;

- не происходит слипания комовых глин, которое чревато образованием сводов в траншее и пустот под ними. Благодаря этому обеспечивается однородность, сплошность пластичной ПФЗ после консолидации и высокая степень водонепроницаемости.

2. Гранулометрический состав (блок 2 таблицы 2.1.1) является одной из значимых характеристик, имеющих наибольшее влияние (как положительное, так и отрицательное) на качество глинистых грунтов карьеров.

Определение грансостава глинистых грунтов выполняется в соответствии с [24]. Определение и анализ грансостава заключается в разделении грунта на отдельные фракции с близкими по крупности частицами, размер которых определяют по их диаметру. Определение грансостава необходимо для решения многих практических вопросов в технологии приготовления ТР и ПФМ для создания ПФЗ, наиболее значимые из которых:

- классификация грунтов по грансоставу;
- вычисление водонепроницаемости пластичных грунтов;
- оценка пригодности глинистых грунтов для их использования в качестве сырья для приготовления ТР и ПФМ в технологии производства работ способом «стена в грунте»;
- вероятность проявления суффозии в теле плотин и их основаниях.

Особенностью МПГ является неоднородность гранулометрического состава, которая вызвана адсорбцией (прилипанием) глинистых частиц на поверхности песчано-пылеватых зерен и коагуляцией (слипанием) тонкодисперсных глинистых частиц, приводящих к образованию агрегатов и их осаждению вместе с более крупными частицами при проходке траншей.

Учитывая неоднородность гранулометрического состава МПГ и его полифракционность, было выделено 5 фракций, имеющих наибольшее влияние на качество глинистого грунта, поэтому они отнесены к критериям предварительной оценки его качества в рамках новой методики.

Ограничение количества фракций до пяти упростило задачу предварительной оценки качества глинистых грунтов. Гранулометрический состав является важным фактором, от которого зависят такие важные свойства, как пластичность, пористость, набухание, водонепроницаемость. Изменение грансостава грунтов влияет на изменение их свойств. Каждая из выбранных фракций грансостава имеет свое особое (положительное или отрицательное) влияние на качество глинистых грунтов.

*Глинистая фракция (позиция 2.1)* крупностью  $d \leq 0,001$  мм и  $d \leq 0,005$  мм. Необходимо подчеркнуть, что глинистая фракция - единственная из грансостава, которая имеет положительное влияние на МПГ, используемые как сырье для приготовления ТР и ПФМ в

технологии создания ПФЗ способом «стена в грунте», и является определяющей для оценки качества глинистого грунта карьера.

В классификации гранулометрического состава дисперсных пород за основной критерий качества принимают процентное содержание активных в физико-химическом отношении частиц глинистой фракции крупностью  $d < 0,005$  мм и  $d < 0,001$  мм. Содержание этих частиц в наиболее качественных тяжелых глинах составляет более 60%; в глинах - 60÷30%; в суглинках - 30÷10%; в супесях - 20÷10%.

Содержащий более 40% глинистых частиц глинистый грунт в соответствии с действующим нормативом [129] считается качественным сырьем, которое может использоваться для приготовления ТР и ПФМ.

При этом важно отметить, что оценка качества глинистого грунта не может основываться исключительно на процентном содержании глинистых частиц в его составе. На качество глинистого грунта влияет также состав обменных катионов  $Na^+$  и  $Ca^{2+}$ : глинистые породы называют натриевыми - если они представлены ионами натрия  $Na^+$  - при их содержании 60-70% или кальциевыми - если обменный комплекс представлен ионами кальция  $Ca^{2+}$ .

Состав обменных катионов влияет на такие свойства глинистых грунтов, как пластичность, набухание, размокание, а также отражается на качестве глинистых растворов, приготовленных на их основе. К примеру, при содержании в растворе 30-40% твердой фракции кальциевых глин (по весу) они образуют слабоустойчивые маловязкие системы, тогда как натриевые глины при 5-7%-ном содержании создают высококачественные стабильные растворы, так как натриевые глины быстрее диспергируются, и конечный размер их частиц значительно меньше, чем у кальциевых.

*Пылеватая фракция (позиция 2.2)* - крупность частиц  $d = 0,01 \div 0,005$  мм. Эта фракция, наиболее близкая по крупности к глинистым частицам, занимает нейтральное положение в дисперсной системе тиксотропного раствора и находится во взвешенном состоянии при проходке траншеи.

*Крупные пылеватые фракции (позиция 2.3)* с размерами частиц  $d = 0,01 \div 0,05$  мм, *фракция мелкозернистых пылеватых песков (позиция 2.4)* с размерами частиц  $d = 0,1 \div 0,05$  мм и *песок крупный 0,2 ÷ 1,0 мм (позиция 2.5)* относятся к вредным примесям, которые оказывают значительное негативное влияние на качество МПГ - создают проблемы при проходке траншей, оседают на дно траншеи, нарушают стабильность тиксотропного раствора и связанную с ней устойчивость стенок траншеи.

### 3. Химико-минералогический состав глинистых грунтов (блок 3 таблицы 2.1.1)

Показатели характеристик химико-минералогического состава МПГ (позиции 3.1-3.8, блок 3) могут служить дополнительным критерием для предварительной оценки их качества.

Влияние химико-минералогического состава на качество МПГ рассматривается совместно с показателями характеристик гранулометрического состава и показателями физико-механических характеристик.

Перечень сочетаний характеристик химсостава, которые являются дополнительными критериями:

1. Повышенное содержание в химсоставе окислов железа  $Fe_2O_3$  и калия  $K_2O$  присуще гидрослюдистым полиминеральным глинам, к которым относятся кембрийские глины.
2. Характерным признаком высокого содержания глинистых фракций крупностью от 0,001 до 0,005 мм в глинистом грунте является высокое содержание  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $CaO$  и  $MgO$ .
3. Признаком высокого содержания мелких фракций в глинистом грунте является сравнительно высокое содержание  $SiO_2$ ,  $CaO$  и  $MgO$  и пониженное содержание  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $K_2O$  и гумуса.
4. Характерным признаком принадлежности МПГ к гидрослюдистым глинам является высокое процентное содержание  $K_2O$  (до 6,28%).
5. При сравнительном анализе химсостава проб глин и суглинков последние отличаются большим содержанием кремнезема  $SiO_2$  и низким содержанием глинозема  $Al_2O_3$  и железа  $Fe_2O_3$ .

## **2.2. Лабораторные исследования технологических характеристик тиксотропных растворов, приготовленных на основе местных полиминеральных глин карьеров Ленинградской области, с целью оценки эффективности новых критериев**

Систематизация показателей характеристик местных полиминеральных глин (МПГ) (таблица 2.1.1) позволила составить перечень единых критериев оценки качества МПГ для приготовления на их основе ТР и ПФМ, пригодных для использования в технологии создания ПФЗ способом «стена в грунте».

Для исследования эффективности выбранных критериев оценки качества МПГ в рамках диссертационной работы выбраны 3 карьера разных видов глинистых грунтов, которые отличаются по: грансоставу, числу пластичности, показателю текучести, показателю набухания, влажности и т.д. Глинистые грунты, выбранные для исследований, относятся к карьерам Чкаловского, Вагановского месторождений и месторождения Большие поля, которые расположены в Ленинградской области.

Показатели характеристик глинистых грунтов изложены в паспортах карьеров и представлены в таблицах 2.2.1, 2.2.2 и 2.2.3 в виде трех блоков:

Блок 1 - физико-механические характеристики;

Блок 2 - гранулометрический состав;

Блок 3 - химико-минералогический состав.

#### 2.2.1. Чкаловское месторождение

В таблице 2.2.1 представлены паспортные данные карьера глинистых грунтов Чкаловского месторождения. В заголовке таблицы дается информация, необходимая проектировщикам и промышленным потребителям глин для технико-экономических расчетов - координаты расположения карьера, общие запасы глин в карьере и т.д.

Для исследования показателей физико-механических характеристик, грансостава, химико-минералогического состава в паспортах карьеров дается методика и описание проведенных лабораторных исследований. Например, грансостав глинистых грунтов определяется по методу Рутковского [143].

Примерный перечень паспортных данных карьеров, единый по составу и форме изложения для всех карьеров, представлен в Приложении 1.

Качество МПГ Чкаловского месторождения подтверждается следующими показателями (таблица 2.2.1):

1. Число пластичности  $I_p = 22,4\%$  отвечает действующим нормативным требованиям к качеству МПГ и указывает на степень дисперсности и гидрофильности глинистого грунта. По классификации ГОСТ 25100 (табл. Б.14) по числу пластичности и содержанию песчаных частиц глинистый грунт относится к глинам тяжелым [22].

2. Влажность. Значение показателя естественной влажности  $W = 20\div 25\%$ . Глинистые грунты указанной влажности могут без обработки (сушки, дискования) использоваться в виде комьев для заполнения траншеи и для приготовления тиксотропных растворов.

3. Грансостав глинистого грунта карьера состоит практически из трех фракций с высоким процентным содержанием глинистых частиц. Основным (определяющим) показателем качества глинистых грунтов является содержание глинистых фракций размером частиц  $< 0,001$  мм - 38,8%, а также частиц размером  $0,001\div 0,005$  мм - 23,2%.

Суммарное содержание глинистых фракций (поз. 2.1) составляет 62%. Учитывая фактическое отсутствие вредных примесей (поз. 2.3, 2.4, 2.5), глинистые грунты изучаемого месторождения можно комплексно использовать (с минимальными затратами на обработку) в качестве сырья для приготовления качественных ТР и ПФМ и комплексно использовать их для создания ПФЗ.

Таблица 2.2.1 - Показатели характеристик глинистых грунтов Чкаловского месторождения - паспорт №1281

Чкаловское месторождение находится в Госненском районе в 42 км от Санкт-Петербурга - на 5 км южнее ж/д станции Ивановская. Съезд по шоссе 0,5 км западнее месторождения и 0,5 км севернее пос. Никольское. Глина используется для производства кирпича (148 млн. шт./год) и порошка кембрийской глины (165 тыс. т/год).

Блок 1	Физико-механические характеристики	Единица измерения	Значение показателя	Среднее значение показателя
Показатели характеристик 1-го блока	1.1. Пластичность	%	1,8-26,5	22,4
	1.2. Влажность	%	16,3-27,5	21,9
Блок 2	Гранулометрический состав	Диаметр частиц, мм	Содержание фракции, %	Среднее значение показателя, %
Показатели характеристик 2-го блока	2.1. Глинистые	0,001	25,0-46,9	38,8
		0,005÷0,001	15,2-29,2	23,2
	2.2. Пылеватая фракция	0,01÷0,005	21,6-53,1	36,5
	2.3. Крупные пылеватые фракции	0,05÷0,01	-	-
	2.4. Мелкозернистые пылеватые пески	0,1÷0,05	0,0-18,8	1,5
2.5. Песок крупный	1÷0,5	-	-	
Блок 3	Химико-минералогический состав	Единица измерения	Значение показателя	Среднее значение показателя
Показатели характеристик 3-го блока	3.1. $SiO_2$	%	59,39-65,72	62,5
	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

Пылеватая фракция (поз. 2.2) с размером частиц 0,01÷0,005 мм и содержанием 36,5% находится во взвешенном состоянии в составе ТР и не влияет на технологический процесс проходки траншеи.



4. Химико-минералогический состав глинистых грунтов (блок 3). Для глинистых грунтов Чкаловского месторождения характерным признаком является сочетание показателей химсостава  $Fe_2O_3$  (поз. 3.4) и  $K_2O$  (поз. 3.7), которые указывают на повышенный процент (%) содержания железа и калия в химсоставе глинистого грунта. Это характерно для полиминеральных кембрийских глин.

### 2.2.2. Вагановское месторождение глинистых грунтов

Показатели характеристик в таблице 2.2.2 получены по результатам анализа инженерно-геологических изысканий и характеристик глинистых грунтов, представленных в паспорте карьера Вагановского месторождения [121].

По результатам предварительной оценки качества глинистых грунтов Вагановского месторождения можно сделать следующие выводы:

1. Показатель числа пластичности глинистого грунта Вагановского месторождения  $I_p = 7,8 \div 19\%$  (среднее значение - 15%). При указанном показателе числа пластичности, по действующему нормативу [129], глинистый грунт не может быть использован в качестве сырья для приготовления ТР. При этом в глинистом грунте отмечен высокий процент содержания глинистой фракции.

Суммарное среднее содержание фракции глинистых частиц составило 53,6% (таблица 2.2.2). Из них: глинистых частиц  $d < 0,001$  мм - 29,1%; глинистых частиц  $d < 0,005$  мм - 24,5%. Для МПГ это высокий процент содержания высокодисперсной ( $d < 0,001$  мм - 29,1%) глинистой фракции, поэтому по предварительной оценке качества можно сделать вывод о пригодности этого глинистого грунта для использования в технологии «стена в грунте». С учетом дальнейшего отделения вредных примесей этот глинистый грунт можно оценить как качественный.

Для разрешения возникшей проблемы воспользуемся дополнительными критериями оценки качества и рассмотрим взаимосвязь пластичности и грансостава глинистой фракции - сопоставим число пластичности и содержание глинистых частиц. Связь между содержанием глинистых пород и их пластичностью определяется показателем коллоидной активности -  $A_k$  [60]:

$$A_k = \frac{I_p}{M_c},$$

где  $I_p$  - показатель пластичности;

$M_c$  - содержание глинистых частиц  $< 0,005$  мм;

По величине  $A_k$  глинистые грунты разделяются на:

- высокоактивные (высокогидрофильные) -  $A_k > 1,25$ ;

- нормальноактивные -  $A_k = 1,25 \div 0,75$

- неактивные -  $A_k < 0,75$ .

Построим диаграмму (по Приклонскому) для сопоставления числа пластичности с содержанием глинистых частиц и в результате получим (рисунок 2.2.1):

$$A_k = \frac{I_p}{M_c} = \frac{15}{53} = 0,28 < 0,75$$

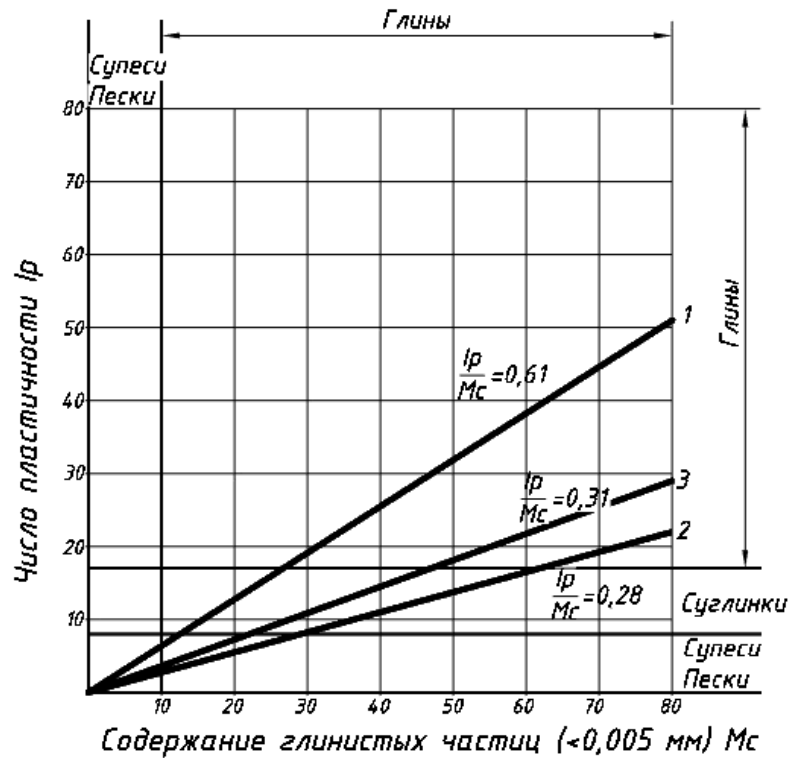


Рисунок 2.2.1 - Диаграмма для сопоставления числа пластичности и содержания глинистых частиц, где: 1 - месторождение Большие поля -  $\frac{I_p}{M_c} = \frac{14,9}{23,2} = 0,61$ ; 2 - месторождения Вагановское -  $\frac{I_p}{M_c} = \frac{15,0}{53,6} = 0,28$ ; 3 - месторождение Чкаловское -  $\frac{I_p}{M_c} = \frac{22,4}{62,0} = 0,31$

Коллоидная активность на диаграмме определяется тангенсом угла наклона прямой, проведенной из начала координат. Глины с  $A_k < 0,75$  относятся к гидрослюдистым, а глины с  $A_k > 1,25$  относятся к бентонитовым [60].

По ГОСТ 25100-2020 [22] и дополнительному критерию глина Вагановского месторождения относится к классу природных дисперсных полиминеральных гидрослюдистых глин. Это подтверждается материалами изысканий СЗГУ, в которых установлено, что «глины Вагановского месторождения по классификации Охотина относятся к тяжелым суглинкам и глинам с числом пластичности 7÷19%, в основном ко II классу. По минералогическому составу глины относятся к типу гидрослюдистых».

2. Благодаря высокому процентному содержанию глинистых частиц в глинистом грунте карьера он обладает хорошо выраженной способностью к коагуляции, набуханию, а

тиксотропные растворы, приготовленные на основе этих глин, приобретают высокую стабильность и прочную структуру.

3. Удаление вредных примесей глинистых грунтов - фракций пылеватого мелкозернистого песка  $d = 0,01 \div 0,05$  мм (поз. 2.3) и крупного песка  $d < 0,2 \div 1,0$  мм (поз. 2.5) с суммарным их содержанием 35,2% - даст возможность улучшить характеристики МПГ и использовать их в качестве основы для приготовления ГР и ПФМ. Очистка глинистых грунтов усложняет технологию подготовки материалов и увеличивает расходы.

4. Нормальная естественная влажность глинистого грунта карьера  $W = 23,0\%$ , для которого не требуется дорогостоящей обработки - просушки и дискования [140]. Использование комовых глин с нормальной естественной влажностью способствует их набуханию в траншее, но основным преимуществом естественной влажности комовых глин является отсутствие агрегатов в результате их слипания и предотвращение образования пустотности, благодаря чему создается однородная водонепроницаемая ПФЗ.

5. Глинистые частицы  $d < 0,001$  мм (содержание - 29,1%) и  $d < 0,001 \div 0,005$  мм (содержание - 24,5%). Суммарный процент содержания глинистых частиц составил 53,6%.

Таблица 2.2.2 - Показатели характеристик глинистых грунтов Вагановского месторождения - паспорт №479

Карьер находится во Всеволожском районе, в 2 км восточнее железнодорожной станции Ваганово. Глина используется для производства керамзитового наполнителя марки 300 и марки 500. Месторождение является сырьевой базой для производства керамзита и кирпича.

Блок 1	Физико-механические характеристики	Единица измерения	Значение показателя	Среднее значение показателя
Показатели характеристик 1-го блока	1.1. Пластичность	%	7,8-19,0	15,0
	1.2. Влажность	%	22,3-23,0	23,0
Блок 2	Гранулометрический состав	Диаметр частиц, мм	Содержание фракции, %	Среднее значение показателя, %
Показатели характеристик 2-го блока	2.1. Глинистые	0,001	13,7-44,5	29,1
		0,005÷0,001	7,8-41,2	24,5
	2.2. Пылеватая фракция	0,01÷0,005	13,6-35,5	24,5
	2.3. Крупные пылеватые фракции	0,05÷0,01	-	-
	2.4. Мелкозернистые пылеватые пески	0,1÷0,05	7,5-28,3	17,9
	2.5. Песок крупный	1÷0,5	0,1-14,6	7,3
Блок 3	Химико-минералогический состав	Единица измерения	Значение показателя	Среднее значение показателя
Показатели характеристик 3-го блока	3.1. $SiO_2$	%	54,98-70,40	62,5
	3.2. $Al_2O_3$	%	14,25-19,7	17,0
	3.3. $TiO_2$	%	0,40-0,78	0,6
	3.4. $Fe_2O_3$	%	3,39-8,21	5,8
	3.5. $CaO$	%	0,56-1,90	1,23
	3.6. $MgO$	%	1,60-3,17	2,38
	3.7. $K_2O$	%	2,91-4,59	3,75
	3.8. $Na_2O$	%	0,18-1,36	0,77

### 2.2.3. Месторождение глинистых грунтов Большие поля

В таблице 2.2.3 представлены характеристики МПГ по паспортным данным месторождения Большие поля. По результатам аналитических исследований паспортных данных карьера сделан вывод, что наиболее значимым показателем, определяющим качество глинистого грунта карьера, является грансостав.

В результате аналитической и исследовательской работы по предварительной оценке качества глинистых грунтов по паспортным данным показателей характеристик можно выдать следующее заключение.

Содержание глинистых частиц в глинистых грунтах месторождения Большие поля ниже нормативного показателя ( $\geq 40\%$ ), что не дает возможность однозначно оценить пригодность глинистого сырья для приготовления качественных ТР и ПФМ [121].

Качество глинистых грунтов карьера определялось по:

1. Содержанию глинистых частиц  $d \leq 0,001$  мм (содержание - более 30%, среднее - 23%).
2. Однородности грансостава и низкого содержания вредных примесей (позиции 2.3, 2.4, 2.5), которые в сумме составляют 12% (при норме - менее 15% содержания в глинистом грунте вредных примесей).
3. Нормальной естественной влажности (22,6%), нормативный показатель которой составляет  $W_{ест} = 5 \div 25\%$ . Глинистый грунт карьера не требует дополнительной обработки - подсушки и дискования на стройплощадке.

Выдача окончательного заключения о пригодности глинистого грунта изучаемого месторождения для приготовления ТР и ПФМ на данном этапе невозможна из-за низкого процентного содержания в грансоставе глинистых частиц (23% при норме  $\geq 40\%$ ) и высокого процентного содержания пылеватой фракции (среднее значение - 59,2% при норме  $\leq 30\%$ ).

Таблица 2.2.3 - Показатели характеристик глинистых грунтов месторождения Большие поля - паспорт №373

Месторождение глин Большие поля находится в Сланцевского р-не в 100 м к северу от д. Большие поля, в 5 км от ст. Сланцы. Сырьевая база для производства кирпича и черепицы. Запасы глин - 31190 тыс. м<sup>3</sup>.

Блок 1	Физико-механические характеристики	Единица измерения	Значение показателя	Среднее значение показателя
Показатели характеристик 1-го блока	1.1. Пластичность	%	7,8-19,0	14,9
	1.2. Влажность	%	15,3-30,0	22,6
Блок 2	Гранулометрический состав	Диаметр частиц, мм	Содержание фракции, %	Среднее значение показателя, %
Показатели характеристик 2-го блока	2.1. Глинистые	0,005÷0,001	10,0-36,4	23,2
	2.2. Пылеватая фракция	0,01÷0,005	45,2-73,77	59,2
	2.3. Крупные пылеватые фракции	0,05÷0,01	1,6-11,19	6,75
	2.4. Мелкозернистые пылеватые пески	0,1÷0,05	1,4-8,97	5,2
	2.5. Песок крупный	1÷0,5	0,03-6,8	3,14
Блок 3	Химико-минералогический состав	Единица измерения	Значение показателя	Среднее значение показателя
Показатели характеристик 3-го блока	3.1. $SiO_2$	%	63,2-64,8	64,5
	3.2. $Al_2O_3$	%	16,9-17,0	17,0
	3.3. $TiO_2$	%		
	3.4. $Fe_2O_3$	%	5,45-5,75	5,6
	3.5. $CaO$	%	2,11-2,21	2,19
	3.6. $MgO$	%	2,13-2,35	2,2
	3.7. $K_2O$	%	3,74-4,02	3,9
	3.8. $Na_2O$	%	1,34-1,6	1,47

#### 2.2.4. Лабораторные исследования

Лабораторные исследования глинистых грунтов трех карьеров проведены с целью проверки эффективности использования выбранных критериев оценки качества МПГ. Оценка качества глинистых грунтов по новой методике основана на показателях их характеристик, указанных в паспортах карьеров и представленных в таблицах 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3.

В соответствии с предлагаемой методикой исследования проведены после удаления из глинистых грунтов вредных примесей:

- крупных пылеватых фракций -  $0,05 \div 0,01$  мм;
- мелкозернистых пылеватых фракций песков -  $0,1 \div 0,05$  мм;
- крупных песков -  $1 \div 0,5$  мм.

После удаления примесей из глинистых грунтов на их основе приготовлены глинистые растворы, качество которых определялось по 7 параметрам [129]. Для глинистых грунтов каждого месторождения готовились глинистые растворы трех плотностей -  $1,15 \text{ г/см}^3$ ,  $1,20 \text{ г/см}^3$ ,  $1,25 \text{ г/см}^3$ .

Структурные и реологические параметры глинистых растворов трех плотностей измерялись с помощью приборов, представленных в Приложении 2. После этого по результатам сравнительного анализа измененных показателей параметров выбиралась оптимальная рецептура глинистого раствора.

Для решения поставленной задачи составлена Программа экспериментальных работ, включающая следующие пункты:

- объекты исследований;
- цель исследований;
- применяемое оборудование, средства испытаний, измерений;
- порядок проведения исследований;
- время и место проведения испытаний;
- результаты экспериментальных исследований.

#### 2.2.5. Программа экспериментальных исследований

1. Объектом исследования являются образцы глинистых грунтов карьеров трех месторождений.

2. Цель исследований: проверка эффективности полученных результатов при определении их качества по разработанной новой методике, суть которой изложена в первой части главы 2.

3. Применяемое оборудование, средства испытаний, измерений: используемые при испытаниях инструменты и оборудование должны иметь свидетельства о поверках или

калибровках. Номер свидетельства о поверке и калибровках указывается в протоколе испытаний. Перечень основного используемого оборудования приведен в Приложении 2.

#### 4. Порядок проведения исследований и методы испытаний

4.1. Исследование качества глинистых грунтов трех карьеров выполняется в следующей последовательности:

- отбор в каждом из трех карьеров проб местных полиминеральных глин для приготовления глинистых растворов осуществляется в соответствии с ГОСТ 25795-83 Сырье глинистое в производстве глинопорошков для буровых растворов. Технические условия [129];
- количество проб - не менее трех из каждого карьера, каждая проба - не менее 3 кг;
- подготовка проб глинистых грунтов гидратационным способом обработки, который заключается в замачивании комовых глин и их распускании в воде. Этот способ диспергации основан на расклинивающем действии воды, отделяющим частицы твердого вещества друг от друга;

4.2. *«Вода для приготовления глинистого раствора должна быть пресной, иметь жесткость не более 12°С и соответствовать требованиям ГОСТ 23732»* [129];

4.3. Получение необходимой плотности раствора из местных полиминеральных глин.

Подготовленную глину взвешивают на лабораторных весах и заливают частью заранее определенного количества воды, доводя ее до пастообразного состояния (плотность 1,5 г/см<sup>3</sup>). После тщательного растирания этой смеси в ступке ее переносят в мешалку, добавляют оставшуюся часть воды и перемешивают в течение 20-30 минут.

4.3.1. Плотность раствора измеряется в соответствии с [29].

4.3.2. Количество глины, необходимое для приготовления раствора заданной плотности определяется по формуле [56]:

$$P_1 = \rho_r(\rho_p - \rho_0)(1 + W)$$

$$P_2 = \frac{\rho_r(\rho_p - \rho_0)}{(\rho_r - \rho_p)}$$

где:  $P_1$  - масса глины на 1 м<sup>3</sup> глинистого раствора, т;

$P_2$  - масса глины на 1 м<sup>3</sup> глинистого раствора, т;

$W$  - влажность глины в долях единицы;

$\rho_r$  - плотность глины, г/см<sup>3</sup>;

$\rho_0$  - плотность воды, г/см<sup>3</sup>;

$\rho_p$  - плотность глинистого раствора, т/м<sup>3</sup>.

Растворы из местных глин проявляют тиксотропные свойства при концентрации от 15% до 40% [116].



4.4. Определение показателей водоотдачи и толщины глинистой корки глинистого раствора на приборе ВМ-6 [29]. Водоотдача глинистого раствора определяется количеством воды, профильтровавшейся за 30 минут через бумажный фильтр Ø75 мм при перепаде давления 0,1 МПа.

4.5. Определение содержания песка в глинистом растворе с помощью сетчатого фильтра, воронки и мерного цилиндра [29].

4.6. Определение показателя условной вязкости глинистого раствора в соответствии с [29] осуществляется с помощью воронки Марша. Условная вязкость раствора характеризует подвижность глинистого раствора, а также его способность проникать в поры и трещины породы [83, 116]. Для измерения условной вязкости раствор объемом 946 мл заливают в воронку. После этого условную вязкость измеряют временем истечения 946 мл раствора из воронки, через трубку длиной 50,8 мм с диаметром проходного отверстия 4,7 мм [29].

4.7. Определение показателя стабильности глинистого раствора (экспериментальная методика с учетом положений РД39-00147001-773-2004). Стабильность раствора – способность сохранять основные параметры без изменения в течение определенного времени. Стабильность косвенно характеризует структурообразующие свойства раствора. Ее измеряют с помощью прибора ЦС-2. Цилиндр стабильности ЦС-2 представляет собой стакан емкостью 300 см<sup>3</sup>, в котором на середине высоты имеется слив с пробкой. Показатель стабильности определяют как разность плотностей верхней и нижней половин пробы раствора, отстаивавшегося в течение суток.

4.8. Определение показателя прочности коагуляционной структуры глинистого раствора в соответствии с [29] с помощью вискозиметра ротационного OFITE 800.

Статическое напряжение сдвига – показатель, определяющий реологические свойства растворов.

4.9. Оценка качества глинистых растворов осуществляется сравнением показателей их качественных параметров с нормативными значениями эксплуатационных параметров, указанных в таблице 2.2.4.

Таблица 2.2.4 - Перечень и нормативные значения эксплуатационных параметров глинистых тиксотропных растворов в соответствии с СП 45.13330 [129]

№ п.п.	Эксплуатационные параметры глинистых растворов в соответствии с СП 45.13330 [129]	Нормативные значения параметра
1	Плотность раствора из местных полиминеральных глин	1,10 ÷ 1,30 г/см <sup>3</sup>
	из местных глин	1,10 ÷ 1,30 г/см <sup>3</sup>
2	Содержание песка	Не более 4%
3	Условная вязкость	18 ÷ 30 сек
4	Стабильность	Не более 0,02 г/см <sup>3</sup>
5	Водоотдача за 30 мин	Не более 30 см <sup>3</sup>
6	Толщина глинистой корки	Не более 4 мм
7	Статическое напряжение сдвига (СНС) через 10 мин	10 ÷ 50 мгс/см <sup>2</sup> [129]

5. Время и место проведения испытаний: место проведения работ – Лаборатория «Фильтрационных исследований» им. акад. Н.Н. Павловского, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», г. Санкт-Петербург [126]; ООО НИИЦ «Недра-тест», г. Москва (контрольные испытания). Период проведения работ: июль-август 2019 года.

Исследования эксплуатационных параметров глинистых тиксотропных растворов, приготовленных на основе образцов местных полиминеральных глин трех карьеров, проводились лично автором диссертационной работы.

6. Результаты экспериментальных исследований:

При оценке качества глинистых грунтов предпочтение отдается той глине, которая дает наибольший выход раствора с заданными параметрами.

#### 2.2.6. Результаты исследований глинистых растворов, приготовленных из глин Чкаловского месторождения

По результатам исследований, представленным в таблице 2.2.5 (графы 3,4,5), можно сделать вывод, что глинистые растворы, приготовленные на основе глинистых грунтов Чкаловского месторождения, образуют прочную пространственную высокодисперсную систему, способную поддерживать (адсорбировать) дисперсную среду и тиксотропные свойства раствора в рабочих процессах.

Значения только двух из семи параметров не соответствуют нормативным (в соответствии с СП45.13330) - это водоотдача и суточный отстой, которые легко корректируются и доводятся до нормативных значений при обработке химдобавками. Эта задача решается в Главе 3 диссертационной работы при разработке рецептур рабочих растворов.

Таким образом, проверка качества глинистых грунтов Чкаловского месторождения с помощью лабораторных исследований подтвердила достоверность полученных результатов при определении их качества по разработанной методике, основанной на показателях их характеристик, изложенных в паспортах карьеров изучаемых глинистых грунтов.

#### 2.2.7. Результаты исследований глинистых растворов, приготовленных из глин Вагановского месторождения

Результаты исследований (графы 6,7,8 таблицы 2.2.5) исходного глинистого раствора плотностью  $1,15 \text{ г/см}^3$ ,  $1,20 \text{ г/см}^3$  и  $1,25 \text{ г/см}^3$  показывают, что глинистые грунты Вагановского месторождения обладают необходимыми свойствами, которые обеспечивают требуемое качество ТР и благодаря этому обеспечивают бесперебойность технологического процесса при проходке траншеи и заполнении ее ПФМ.

Этот процесс обеспечивается за счет стабильности раствора, по которому определяют способность удерживать во взвешенном состоянии частицы выбуренной породы [127]. Величина отстоя прозрачного слоя воды на поверхности ТР в течение суток характеризует структурообразующую способность глин и гидрофильность (интенсивность молекулярного взаимодействия глинистых частиц с водой).

Качество глинистых грунтов карьера и ТР, приготовленного на их основе, характеризует также показатель водоотдачи, который указывает на способность глинистого раствора отдавать воду контактирующим породам [56, 121]. Учитывая функциональное назначение ТР, можно утверждать - чем водоотдача ниже, тем рациональнее и эффективнее используется тиксотропный раствор и вся система в целом.

Показатели водоотдачи, суточного отстоя и стабильности (графы 6,7,8 таблицы 2.2.5) имеют нормативные значения. Близкие к нормативным значения имеют остальные параметры, к которым относятся условная вязкость, статическое напряжение сдвига. Немного завышен показатель суточного отстоя (при  $\rho = 1,20 \text{ г/см}^3$ ) и содержание песка. Указанные показатели для глин (до обработки химдобавками) означают их пригодность для приготовления ТР.

Таблица 2.2.5 - Результаты лабораторных исследований (без обработки химдобавками) глинистых растворов, приготовленных на основе МПГ трех карьеров

№ п.п.	Наименование параметров	Нормативные значения параметров в соответствии с СП45.13330	Показатели характеристик глинистых растворов, полученных из МПГ карьеров								
			Плотность глинистых растворов, г/см <sup>3</sup>								
			Чкаловское			Вагановское			Большие поля		
			1,15	1,20	1,25	1,15	1,20	1,25	1,15	1,20	1,25
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	Условная вязкость	18÷30 сек	17,1	21,2	24,8	14,3	18,0	20,0		17,1	18,0
2	Статическое напряжение сдвига	10÷50 мг/см <sup>2</sup>	10,3	32,1	34,1	9,5	17,0	34,1		4,3	13,4
3	Водоотдача за 30 минут	≤ 30 см <sup>3</sup>	38/25	31/30	31/30	35/30	16/30	17/30		30/13	30/25
4	Толщина глинистой корки	≤ 4 мм	3,4	4,5	3,5	2,8	3,0	3,0		4,0	4,5
5	Суточный отстой	≤ 4 %	5,3	3,5	3,0	4,0	5,0	4,0		3,8	4,7
6	Содержание песка	≤ 4 %	1,8	2,9	3,4	4,5	5,0	5,5		4,6	4,9
7	Стабильность	≤ 0,02 г/см <sup>3</sup>	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02		0,09	0,05
8	Расход компонентов на 1 м <sup>3</sup> раствора:										
9	Глина	кг	235	314	392	235	314	392		314	392
10	Вода	кг	912	882	824	912	882	824		882	824

Таким образом, достоверность полученных результатов при предварительной оценке качества глинистых грунтов Вагановского карьера по новой методике подтверждена результатами экспериментальных исследований (графы 6,7,8 таблицы 2.2.5).

#### 2.2.8. Результаты исследований глинистых растворов на основе глин месторождения Большие поля

В ходе анализа (по паспорту карьера) грансостава глинистых грунтов, несмотря на его относительную однородность, сомнение вызвал высокий процент содержания пылеватых

частиц - максимальное содержание - 73,7% (среднее - 59,2%) и относительно низкое глинистых частиц - максимальное содержание 36,4% (среднее - 23,2%). При таком процентном соотношении глинистых фракций (36,4%) и пылеватых фракций (73,7%) нейтральное положение пылеватых фракций (находятся во взвешенном состоянии) может быть нарушено и привести к нарушению технологического процесса.

По результатам лабораторных исследований глинистых грунтов месторождения Большие поля можно сделать вывод - по качеству они сильно уступают глинистым грунтам Чкаловского и Вагановского месторождений. Это подтверждается результатами лабораторных исследований, которые представлены в графе 10 и 11 таблицы 2.2.5.

При плотности  $\rho = 1,15 \text{ г/см}^3$  (графа 9 таблицы 2.2.5) произошло разделение жидкой и твердой фазы глинистого раствора из-за низких показателей тиксотропности глин вследствие недостатка объемной массы глинистых частиц при указанной плотности.

Лабораторные исследования показали, что устойчивую структуру раствора, приготовленного на основе глинистого грунта изучаемого карьера, можно создать при плотности  $\rho = 1,25 \text{ г/см}^3$ . О тиксотропности глинистого раствора судят по показателям условной вязкости и статического напряжения сдвига (СНС) [56, 121]. Чем выше показатель СНС и чем ниже вязкость раствора, тем выше его тиксотропность. По этим двум показателям можно судить, что глинистый раствор  $\rho = 1,25 \text{ г/см}^3$  с показателями условной вязкости - 18 сек (поз. 1) и СНС -  $13,4 \text{ мг/см}^2$  (поз. 2) обладают необходимой начальной тиксотропностью, которая может быть повышена путем обработки химдобавками.

Кроме того, стабильность системы, определенная по величине отстоя - 4,7%, близка к нормативной. Водоотдача, один из важных показателей, влияющих на технологические процессы при проходке траншей, также близка к нормативному значению (поз. 3, графа 11 таблицы 2.2.5).

Таким образом, результаты предварительной оценки качества глинистых грунтов месторождения Большие поля по новой методике указывают на то, что глинистые грунты данного месторождения могут использоваться только в качестве сырья для приготовления ПФМ.

### **2.3. Аналитическая методика предварительной оценки качества местных полиминеральных глин (МПП), используемых в технологии взамен бентонитовых глин для приготовления тиксотропных растворов (ТР) и противофильтрационных материалов (ПФМ)**

Результаты проведенного комплекса аналитических и лабораторных исследований характеристик МПП по паспортным данным карьеров Ленобласти стали структурной и содержательной основой разработанной автором диссертационной работы методики предварительной оценки качества МПП. В отличие от действующего норматива [129] оценка качества МПП по разработанной методике производится без проведения лабораторных исследований.

Новая методика, алгоритм применения которой представлен на рисунке 2.3.1, дает возможность проектировщику на стадии ТЭО предварительно оценить качество исходного глинистого сырья, определить необходимость улучшения характеристик МПП и в итоге дать заключение о технико-экономической целесообразности использования МПП конкретного карьера в строительстве ПФЗ способом «стена в грунте» в качестве сырья для приготовления ТР и ПФМ.

На первом этапе реализации методики (позиция 1 на рисунке 2.3.1) проводится анализ общих сведений о месторождении (карьере) МПП по его паспорту, который запрашивается, например, через Российский федеральный геологический фонд. В качестве примера - для карьера глинистых грунтов Вагановского месторождения (паспорт №479 карьера глинистых грунтов) составлен перечень характеристик глинистых грунтов по паспортным данным карьера и необходимая информация о карьере:

1. Месторасположение карьера: Всеволожский район, в 0,5 км на СВ от п. Ваганово и 2 км на восток от ж/д станции Ваганово. Месторождение разведано в 1959-60 гг. По представленной информации о координатах расположения карьера глинистых грунтов при выборе сырья на стадии проектирования ценным являются показатели:

- 1.1. Степень удаленности карьера глинистого сырья от строительной площадки;
- 1.2. Возможность использования ж/д транспорта или автотранспорта для доставки сырья к строительной площадке;
- 1.3. Возможность предварительной оценки стоимости транспортировки единицы объема глинистого сырья к стройплощадке.

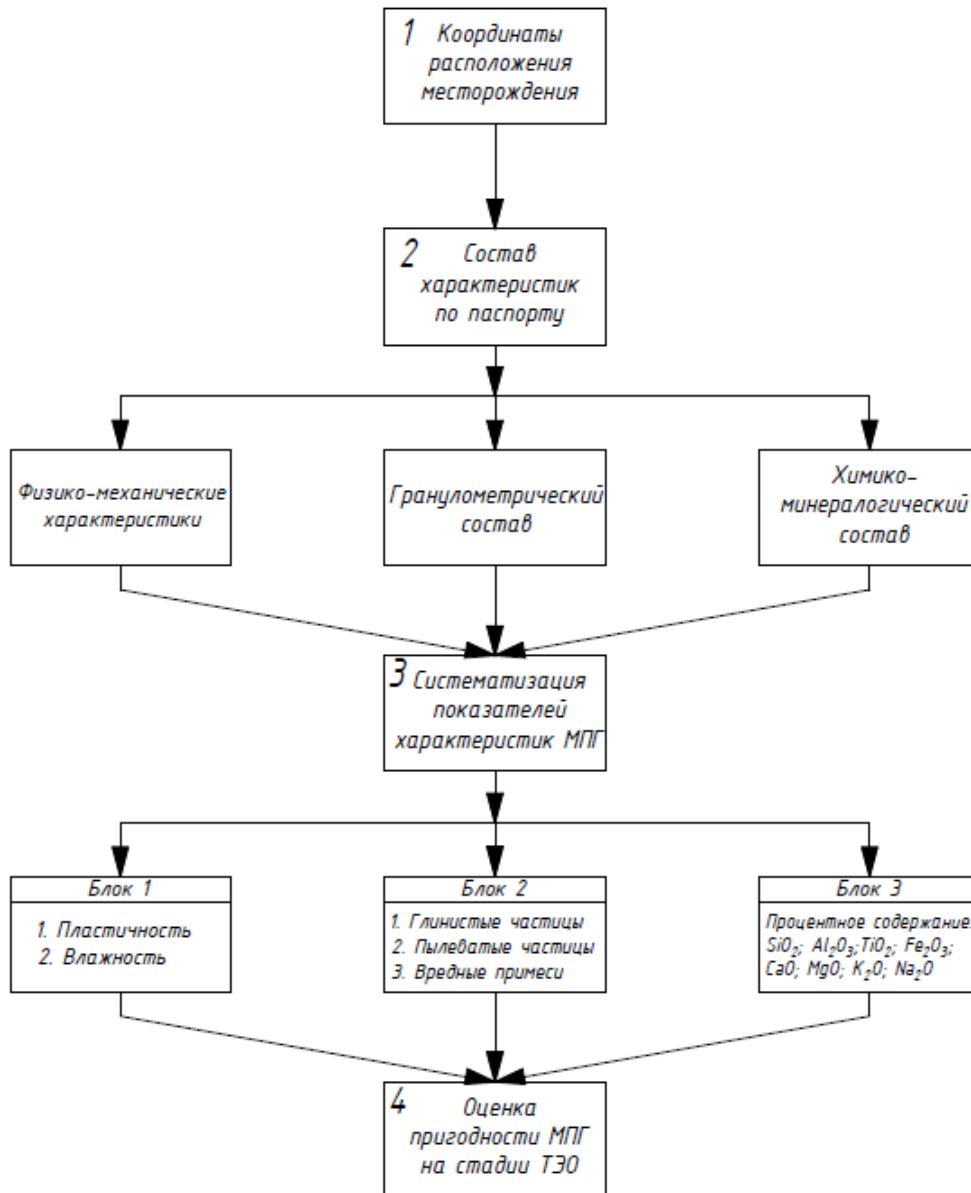


Рисунок 2.3.1 - Схема оценки качества глинистых грунтов по паспортным данным карьера

2. В карьере Вагановского месторождения залегают: по виду - глинистый грунт; по типу - полиминеральные глинистые грунты; по минералогическому составу относится к гидрослюдистым глинам [22].

Разновидность глинистых грунтов выделяются по грансоставу, числу пластичности, набуханию, влажности и т.д. Глинистые грунты карьера могут использоваться в качестве сырья для производства глинопорошка, кирпича и черепицы.

3. Гидрогеологические условия залегания глинистых грунтов карьера считаются благоприятными, так как глинистые грунты карьера не обводнены и благодаря этому они имеют естественную влажность в диапазоне 15-25% (нормативный показатель).

4. Запасы глинистого сырья - 12 050 тыс. м<sup>3</sup>. Способ разработки - открытый.

5. Прирост запасов глины возможен как по площади, так и за счет глубины.

6. При нормативном показателе влажности глинистый грунт карьера можно использовать, не подсушивая его, и, таким образом, исключить расходы на его обработку.

Вышеприведенные выдержки из паспорта карьера представляют собой лишь часть изложенной в нем информации о глинистом сырье. Но и эта информация дает возможность решать вопрос о пригодности МПГ на стадии ТЭО проекта.

На втором этапе (позиции 2 и 3 на рисунке 2.3.1) из паспорта месторождения МПГ в специальную форму (см. таблицу 2.1.1) выписываются значения показателей характеристик, разделенных на три блока:

- Физико-механические характеристики (число пластичности, влажность);
- Гранулометрический состав (глинистые, пылеватые и крупные пылеватые, мелкозернистые пылеватые пески, песок крупный);
- Химико-минералогический состав.

#### 1. Физико-механические характеристики (блок 1 таблицы 2.1.1)

В блоке 1 таблицы представлены показатели физико-механических характеристик глинистых грунтов карьера. В состав характеристик входят:

*Число пластичности  $I_p$  (позиция 1.1)* относится к одному из критериев оценки качества местных полиминеральных глин. По значению числа пластичности можно определить разновидность глинистых грунтов в соответствии с ГОСТ 25100:

- при  $I_p > 17\%$  - глины;
- при  $7\% < I_p \leq 17\%$  - суглинки;
- при  $1\% \leq I_p \leq 7\%$  - супесь.

*Влажность (позиция 1.2).* Величина влажности глинистых пород зависит от минералогического и гранулометрического состава грунта, а также от уровня грунтовых вод в карьере. Нормативным считается показатель влажности глинистого грунта, находящийся в диапазоне от 10% до 25% на пределе раскатывания (нижний предел пластичности).

#### 2. Гранулометрический состав (блок 2 таблицы 2.1.1).

*Глинистые фракции (позиция 2.1).* В классификации гранулометрического состава дисперсных пород за основной критерий качества принимают процентное содержание активных в физико-химическом отношении частиц глинистой фракции (крупностью  $d < 0,005$  мм и  $d < 0,001$  мм). Содержание этих частиц в наиболее качественных тяжелых глинах составляет более 60%; в глинах - 60÷30%; в суглинках - 30÷10%; в супесях - 20÷10%. Нормативное содержание глинистых фракций, определяющих их пригодность к использованию, должно составлять  $\geq 40\%$ .

*Вторая группа фракций (позиции 2.3, 2.4, 2.5)* состоит из трех фракций, каждая из которых относится к категории вредных примесей в составе глинистого грунта:



- крупные пылеватые фракции - 0,05-0,01 мм;
- мелкозернистые пылеватые пески - 0,1-0,05 мм;
- крупный песок - 1,0-0,5 мм.

Суммарное остаточное содержание второй группы фракций в МПГ, предназначенных для приготовления ТР и ПФМ в технологии «стена в грунте», после очистки не должно превышать 15%.

Пылеватая фракция (*позиция 2.2*) размером частиц 0,01-0,005 мм - близкая по размеру глинистым частицам - практически не влияет на качество ТР, занимая нейтральное положение. Находится во взвешенном состоянии в ТР. Содержание ее в составе глинистого грунта не должно превышать 30%.

### 3. Химико-минералогический состав (блок 3 таблицы 2.1.1).

*Перечень сочетаний характеристик химсостава, которые являются дополнительными критериями:*

- Повышенное содержание в химсоставе окислов железа  $Fe_2O_3$  и калия  $K_2O$  присуще гидрослюдистым полиминеральным глинам, к которым относятся кембрийские глины;
- Характерным признаком высокого содержания глинистых фракций крупностью от 0,001 до 0,005 мм в глинистом грунте является высокое содержание  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $CaO$  и  $MgO$ ;
- Признаком высокого содержания мелких фракций в глинистом грунте является сравнительно высокое содержание  $SiO_2$ ,  $CaO$  и  $MgO$  и пониженное содержание  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $K_2O$  и гумуса;
- Характерным признаком принадлежности МПГ к гидрослюдистым глинам является высокое процентное содержание  $K_2O$  (до 6,28%);
- При сравнительном анализе химсостава проб глин и суглинков последние отличаются большим содержанием кремнезема  $SiO_2$  и низким содержанием глинозема  $Al_2O_3$  и железа  $Fe_2O_3$ .

На третьем этапе (позиция 4 на рисунке 2.3.1) по итогам предварительной оценки качества МПГ выдается заключение, в котором в рамках технико-экономического обоснования строительства ПФЗ оценивается:

- пригодность 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 на основе МПГ;
- расходы на транспортировку МПГ на стройплощадку.

**Выводы по Главе 2:**

В представленной главе решена часть задач диссертационной работы, которая касается разработки методики комплексного использования МПГ карьеров в качестве сырья для приготовления ТР и ПФМ в технологии возведения ПФЗ способом «стена в грунте»:

1. Определены основные показатели характеристик глинистых грунтов карьеров, имеющие наибольшее влияние и определяющие их качество для приготовления на их основе ТР и ПФМ в технологии создания ПФЗ способом «стена в грунте».

2. В результате систематизации показателей характеристик МПГ установлен перечень единых критериев оценки качества МПГ, опирающихся на нормативную базу и используемых в определенной последовательности.

3. Показан алгоритм оценки качества МПГ по паспортным данным действующих и разведанных карьеров глинистых грунтов на примере трех месторождений, расположенных в Ленобласти.

4. Результаты поверочных лабораторных исследований ТР доказали эффективность использования единых критериев оценки качества МПГ в технологии строительства ПФЗ способом «стена в грунте».

5. Разработана новая методика предварительной (не требующей лабораторных исследований) оценки качества глинистых грунтов на основе единых критериев, установленных в результате исследования и систематизации показателей характеристик МПГ по паспортным данным карьеров. Новая методика может стать основой для обновления нормативной базы в ГТС и позволит расширить область применения способа «стена в грунте» в ГТС.

### **Глава 3. ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ЗАВЕС СПОСОБОМ «СТЕНА В ГРУНТЕ», ОСНОВАННАЯ НА КОМПЛЕКСНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕСТНЫХ ПОЛИМИНЕРАЛЬНЫХ ГЛИН**

#### **3.1. План исследований, направленных на совершенствование технологии создания ПФЗ способом «стена в грунте»**

Глава 3 является логическим продолжением Главы 2 и заключительным этапом проверки возможности реализации на практике новой методики оценки качества глинистых грунтов карьеров (МПП) по единым критериям, полученным в результате исследований и систематизации показателей характеристик, представленных в паспортах карьеров глинистых грунтов.

Внедрение новой методики оценки качества местных полиминеральных глин для их использования в создании ПФЗ способом «стена в грунте» значительно расширит возможности технологии производства работ. Новая методика обеспечит доступность информации о действующих и разведанных карьерах глинистых грунтов в регионах, а также о качестве МПП карьеров, возможности и доступности их доставки к строительным площадкам. Это откроет возможность широкого внедрения в строительную практику экономически эффективных МПП в качестве замены дорогостоящих и дефицитных бентонитовых глин в рецептурах ТР и ПФМ при создании ПФЗ большой протяженности.

Представленные в Главе 3 результаты лабораторных исследований посвящены проверке эффективности оценки качества глинистых грунтов по единым критериям новой методики. Для исследований использовались в качестве сырья глинистые грунты трех карьеров: Чкаловского, Вагановского и Большие поля.

Учитывая, что качество глинистых грунтов указанных карьеров хорошо изучено (материалы изложены в Главе 2) и им дана соответствующая оценка, то логично было разработать рецептуры тиксотропных растворов (ТР) и противофильтрационных материалов (ПФМ) на основе глинистого сырья указанных карьеров. Исследуя качество ТР и ПФМ, разработанных на основе МПП, мы получаем материалы полного цикла исследований: от сырья до полученных на его основе ТР и ПФМ.

Разработанные ТР и ПФМ с определенным заданным качеством доказывают возможность замены бентонитовых глин местными полиминеральными глинами и тем самым обосновывают внедрение широко распространенных и экономически эффективных МПП в технологию строительства ПФЗ способом «стена в грунте».

В состав задач Главы 3 входит:

- Разработка программы экспериментальных исследований;
- Повышение качества МПГ, способы их обработки для получения качественных ТР, отвечающих нормативным требованиям;
- Исследование показателей характеристик ТР, влияющих на их качество;
- Разработка технологии приготовления ТР и ПФМ на основе МПГ;
- Подготовка материалов для проекта методики комплексного использования МПГ.

### **3.2. Исследование влияния параметров ТР и ПФМ, приготовленных на основе МПГ, на технологический процесс создания противодиффузионных завес способом «стена в грунте» для инженерно-экологической защиты**

Разработка и исследование рабочих рецептур тиксотропных растворов начинается с приготовления маточных растворов на основе глинистых грунтов указанных выше месторождений, которые в результате предварительной оценки качества были рекомендованы к использованию в технологии (таблицы 2.1.1, 2.1.3, 2.1.4, 2.1.5, 2.2.1 в Главе 2).

Задачей проведения экспериментальных работ является детальное изучение влияния показателей параметров [129] на свойства и эксплуатационные характеристики тиксотропных растворов. Экспериментальные исследования проводятся по разработанной «Программе лабораторных исследований», представленной в Приложении 3.

Технология приготовления тиксотропных растворов трех плотностей - 1,15 г/см<sup>3</sup>, 1,2 г/см<sup>3</sup> и 1,25 г/см<sup>3</sup> - на основе глин трех месторождений детально изложена в пунктах 6.2; 6.3 и 6.4 «Программы лабораторных исследований» (Приложение 3).

Исследование эксплуатационных параметров тиксотропных растворов заданных плотностей осуществлялось с помощью приборов, представленных в Приложении 2, в следующей последовательности:

3.2.1. Условная вязкость, сек. В соответствии с [29] (Приложение 2, рисунок 3) измеряется с помощью вискозиметра Марша, представляющего собой конусообразную воронку длиной 305 мм, диаметром 15 мм и емкостью сетки 1500 мл [29]. Исследуемый глинистый раствор объемом 946 мл заливают в воронку [29]. После этого условную вязкость раствора измеряют временем истечения 946 мл раствора из воронки, через трубку длиной 50,8 мм с диаметром проходного отверстия 4,7 мм [29].

Условная вязкость тиксотропного раствора характеризует степень его подвижности и способность проникать в поры грунта [29]. Чем больше вязкость раствора, тем он медленнее проникает в поры грунта и тем быстрее он формирует на стенках траншеи водонепроницаемый

экран (глинистую корку). При большой вязкости затрудняется очистка ТР от загрязняющих его примесей. Нормативный показатель условной вязкости в соответствии с СП45.13330 составляет  $18 \div 50$  сек.

3.2.2. Статическое напряжение сдвига ( $\text{мгс}/\text{см}^2$ ) в соответствии с [29] измеряется через 10 минут с помощью ротационного вискозиметра. Этот эксплуатационный параметр ТР отражает прочность его коагуляционной структуры в статических условиях [29]. Частицы, находясь в тиксотропном растворе меньшей плотности, чем они сами, удерживаются во взвешенном состоянии за счет пространственной структуры.

3.2.3. Водоотдача ( $\text{см}^3$ ) и толщина глинистой корки (мм). Водоотдача измеряется с помощью прибора ВМ-6 (Приложение 2, рисунок 2) [29]. Водоотдача и толщина глинистой корки характеризуют способность тиксотропного раствора отдавать воду контактирующим породам [56, 127]. Чем ниже водоотдача, тем качественнее используется система циркуляции. Небольшая толщина глинистой корки обеспечивает нормальную циркуляцию раствора. Нормативное значение водоотдачи -  $\leq 30 \text{ см}^3$  за 30 мин, толщины глинистой корки -  $\leq 4 \text{ мм}$  [127, 129].

3.2.4. Стабильность ( $\text{г}/\text{см}^3$ ) и суточный отстой (мм). Стабильность и отстой глинистого раствора измеряются с помощью прибора ЦС-2 (Приложение 2, рисунок 4), который входит в состав ЛГР-3.

Стабильность тиксотропного раствора определяет его способность удерживать во взвешенном состоянии частицы выбуренной породы [56, 116]. Она измеряется разностью плотностей нижнего и верхнего слоя тиксотропного раствора после его отстоя в течение суток в приборе ЦС-2 (цилиндр стабильности) - стакан вместимостью 720 мл, в котором на середине высоты имеется слив с пробкой, что позволяет последовательно измерить плотность верхнего и нижнего слоя раствора [116]. Нормативный показатель стабильности -  $\leq 0,02 \text{ г}/\text{см}^3$ .

Отстой. Величина отстоя определяет прочность коагуляционной структуры тиксотропного раствора. В соответствии с [29] измеряется с помощью ротационного вискозиметра (Приложение 2, рисунок 6). Нормативное значение отстоя -  $\leq 4\%$  [129].

3.2.5. Содержание песка (%). В соответствии с ISO 10414-1 процентное содержание песка и наличие недиспергированных частиц диаметром более 74 мкм измеряется прибором ОМ-2 и ситом для песка (Приложение 2, рисунок 5). Нормативное содержание песка не должно превышать 4%. Содержание песка указывает на степень загрязнения тиксотропного раствора, которая влияет на стабильность и циркуляцию системы [56].

После серии опытов по исследованию эксплуатационных параметров глинистых растворов плотностью -  $1,15 \text{ г}/\text{см}^3$ ,  $1,20 \text{ г}/\text{см}^3$  и  $1,25 \text{ г}/\text{см}^3$  - приготовленных на основе МПГ месторождений: Чкаловское, Вагановское и Большие поля, был произведен сравнительный

анализ полученных показателей параметров глинистых растворов с их нормативными значениями в соответствии с таблицей 14.2 СП45.13330 [129].

На основе сравнительного анализа по каждому из глинистых растворов различной плотности были выявлены показатели параметров, не соответствующие нормативным требованиям (таблица 3.2.1). После чего подбирались химические добавки для приведения таких показателей параметров к нормативным значениям [121].

Таблица 3.2.1 - Эксплуатационные показатели ТР, не соответствующие нормативным требованиям, выявленные в результате сравнительного анализа

№ поз.	Название параметра	Нормативное значение параметра [129]	Чкаловское			Вагановское			Большие поля		
			Плотность, г/см <sup>3</sup>			Плотность, г/см <sup>3</sup>			Плотность, г/см <sup>3</sup>		
			1,15	1,20	1,25	1,15	1,20	1,25	1,20	1,25	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	Условная вязкость	18÷30 сек [129]				14,6					
2	СНС	10÷50 мгс/см <sup>2</sup> [129]							4,6		
3	Водоотдача	≤ 30 см <sup>3</sup> [129]	37,7	31,5							
4	Толщина глинистой корки	≤ 4 мм [129]									
5	Суточный отстой	≤ 4% [129]	5,3			5,5	5,0			4,4	
6	Содержание песка	≤ 4% [129]					4,5	4,7	4,3	4,8	
7	Стабильность	≤ 0,02 г/см <sup>3</sup> [129]							0,07	0,05	

По результатам анализа полученных эксплуатационных параметров глинистых растворов, приготовленных на основе МПГ трех месторождений, можно сделать общий вывод: оценка качества глинистых грунтов карьеров по единым критериям разработанной методики подтвердила свою эффективность. Можно с большой долей вероятности утверждать после первого этапа исследования, что на основе глин Чкаловского и Вагановского месторождений будут получены качественные тиксотропные растворы после использования в рецептурах химдобавок для обработки глинистых растворов (на втором этапе исследования).

Что же касается МПГ месторождения Большие поля, то в данном случае окончательный вывод о качестве глинистых растворов, приготовленных на их основе, будет сделан по итогам

второго этапа исследования, так как положительную роль может сыграть введение в рецептуры химических добавок.

Необходимо подчеркнуть, что глинам месторождения Большие поля при оценке их качества по разработанной методике дана негативная оценка (Глава 2, раздел 2.2).

По результатам исследований и анализа эксплуатационных параметров ГР (таблица 3.2.2), значения которых не соответствуют нормативным требованиям, можно сделать следующий вывод:

1. Показатель стабильности (позиция 7, графы 9 и 10) превышен в 2-3 раза (абсолютная величина) и составляет 0,07 и 0,04 г/см<sup>3</sup> при нормативном значении  $\leq 0,02$  г/см<sup>3</sup>. Такие показатели стабильности указывают на низкую структурообразующую способность (способность глинистого раствора удерживать частицы выбуренной породы во взвешенном состоянии во время проходки траншеи).

2. СНС - статическое напряжение сдвига (позиция 2, графа 9) - 4,6 мг/см<sup>2</sup> при диапазоне нормативных значений 10÷50 мг/см<sup>2</sup>. Заниженный показатель СНС отражает низкую прочность пространственной структуры, что также свидетельствует о неспособности раствора удерживать частицы выбуренной породы во взвешенном состоянии.

3. Завышенное содержание песка (позиция 6, графы 9 и 10) - 4,3% и 4,8% при норме не более 4%.

Проведенный сравнительный анализ результатов лабораторных исследований с нормативными показателями качества ГР (в соответствии с СП45.13330) позволил сделать вывод о том, что качество приготовленных растворов определенной плотности по отдельным показателям характеристик не соответствует нормативным требованиям. Эти показатели выделены в таблице 3.2.2 красным цветом.

Таблица 3.2.2 - Результаты исследований глинистых растворов, приготовленных на основе МПГ трех карьеров, до и после химобработки

№ п./п.	Наименование параметра	Нормативное значение параметра по СП45.13330 [129]	Глинистые растворы, приготовленные на основе МПГ трех месторождений при различной плотности, г/см <sup>3</sup>									Глинистые растворы, приготовленные на основе МПГ трех месторождений, после химобработки 1% раствором КМЦ-400 при различной плотности, г/см <sup>3</sup>							
			Чкаловская			Вагановская			Б. Поля			Чкаловская			Вагановская			Б. Поля	
			1,15	1,20	1,25	1,15	1,20	1,25	1,20	1,25	1,15	1,20	1,25	1,15	1,20	1,25	1,20	1,25	
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	19,1	24,7	30,0	18,9	26,8	28,4	17,3	24,1	
2	Статическое напряжение сдвига	10÷50 мгс/см <sup>2</sup>	10,1	31,7	34,0	9,7	18,6	33,3	4,6	10,8	5,59	19,9	44,6	11,9	22,8	36,8	7,5	11,2	
3	Водоотдача за 30 мин	≤ 30 см <sup>3</sup>	37,7/25	31,5/30	29,8/30	32/30	18/30	19/30	30/16	30/25	31,8	25,5/25	29/30	29/30	16/30	14/30	30/20	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 <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup> 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										2,35	3,14	3,92	2,35	3,14	3,92	3,14	3,92	



Практический опыт и изучение проблемы указывают пути рационального решения повышения качества глинистого сырья и тиксотропных растворов, например, обработкой их химическими реагентами. Одним из показателей, не соответствующих нормативным требованиям, является повышенное содержание песка в ТР (графы 7, 8, 9, 10 в таблице 3.2.2), которое отрицательно влияет на циркуляционную систему в процессе проходки траншеи, создавая повышенное сопротивление и снижая производительность при проходке траншеи буровфрезерными машинами. Кроме того, повышенное содержание песка способствует росту значительного слоя шлама на дне траншеи.

Очистка глинистого раствора на строительной площадке, например, от крупных песчаных частиц осуществляется на виброситах и ситогидроциклонных установках. Но при высоком процентном содержании в грансоставе исходных МПГ мелкозернистых пылеватых песков ( $d = 0,1 \div 0,05$  мм) и крупных пылеватых частиц ( $d = 0,05 \div 0,01$  мм) указанные выше способы очистки не дают должного эффекта. Отделение таких частиц осуществляется гидратацией, то есть отстаиванием глин в емкостях длительное время.

К показателям характеристик растворов, не отвечающих нормативным требованиям, также относятся (табл. 3.2.2):

1. Для глин Чкаловского месторождения:

- водоотдача (позиция 3, графа 3)
- суточный отстой (позиция 5, графа 3);
- стабильность (позиция 7 графа 3);

2. Для глин Вагановского месторождения:

- условная вязкость (позиция 1, графа 6);
- суточный отстой (позиция 5, графа 6);
- содержание песка (позиция 6, графы 6, 7, 8);

3. Для глин месторождения Большие поля:

- статическое напряжение сдвига (позиция 2, графа 9);
- суточный отстой (позиция 5, графа 10);
- стабильность (позиция 7, графы 9 и 10).

Большинство показателей характеристик имеют незначительные отклонения от нормативных. Исключением является отличный от нормативного показатель стабильности глинистых растворов, приготовленных из глинистых грунтов месторождения Большие поля (позиция 7, графы 9 и 10). Для управления показателем стабильности необходим более детальный подбор химдобавок.

Решение озвученной проблемы - повышение качества ТР и ПФМ в технологии создания ПФЗ - позволит расширить возможности внедрения в строительную практику широко распространенных МПГ.

Для широкого внедрения МПГ в технологию создания ПФЗ способом «стена в грунте» необходимо найти эффективные способы повышения качества исходного сырья - глинистых грунтов карьеров и приготовленных на их основе ТР и ПФМ. Для этого существуют и используются в технологии механический, гидратационный и химический способы обработки глинистых грунтов и растворов (ТР). Наиболее эффективным способом повышения качества ТР является химический способ, который основан на быстром разрушении агрегатов глинистых частиц.

Автором диссертационной работы эта проблема решалась последовательно: на первом этапе решена задача обеспечения доступности информации о карьерах и характеристиках МПГ и оценки их качества без проведения лабораторных исследований. Затем в результате исследований произведена оценка качества МПГ по единым критериям новой методики. Единые критерии сформированы из показателей характеристик глинистых грунтов, указанных в паспортах карьеров. Результаты исследований по первому этапу работ представлены в Главах 2 и 3 (таблицы 2.1.1, 2.1.3, 2.1.4 и таблицы 3.2.1 и 3.2.2).

Второй этап решения задачи, предусмотренный Программой исследований (Приложение 3), касается разработки и исследования рецептур ТР и ПФМ, обработанных химреагентами для повышения их качества. Для разработки рецептур привлечены материалы исследований 2-й и 3-й глав.

Для выбора химических реагентов, по материалам исследований, определено качество глинистых растворов, приготовленных на основе МПГ [121]. Проведенный анализ исследований позволил выделить глинистые растворы, показатели характеристик которых не соответствуют нормативным требованиям (таблица 3.2.1). Для глинистых растворов, не отвечающих нормативным требованиям, в результате исследований определено влияние на их качество химических добавок.

Химические реагенты, применяемые для обработки глинистых растворов с целью повышения их качества, подразделяются по их назначению и основному действию на три группы [39, 116]:

- защитные коллоиды [39, 116];
- электролиты [39, 116];
- поверхностно-активные вещества (ПАВ) [39, 116].

Из трех групп химических реагентов наиболее эффективными, как показали лабораторные исследования, оказались защитные коллоиды. Их воздействие на глинистые

растворы происходит следующим образом. Мельчайшие частицы или многоатомные молекулы защитных коллоидов концентрируются (адсорбируются) на чешуйках глины, образуя вокруг них защитные слои, которые предохраняют частицы глины от слипания и образования их в агрегаты [37, 39]. Таким образом, защитные коллоиды стабилизируют глинистые растворы [37, 39].

Кроме того, защитные коллоиды снижают водоотдачу ТР, образуя на частицах глины защитные слои из коллоидных частиц химреагента, которые снижают проницаемость глинистых корок на стенках траншеи, уменьшая водоотдачу [37, 39]. Защитные коллоиды адсорбируются на гранях и ребрах глинистых частиц, уменьшают связь между ними, снижая вязкость и статическое напряжение сдвига ТР [37, 39].

В состав группы защитных коллоидов входят несколько реагентов, к числу которых относится и карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ). Она представляет собой волокнистое вещество желтого цвета - КМЦ300; КМЦ350 или рассыпчатое вещество желтоватого цвета - КМЦ400, КМЦ500.

На основе производственного опыта и экспериментальных работ установлено, что наиболее универсальным и эффективным химреагентом из группы защитных коллоидов является именно КМЦ. К ее преимуществам относятся:

1. При обработке улучшает общие свойства глин и тиксотропных растворов.
2. Совместима со всеми реагентами и видами химической обработки [121].
3. Снижает водоотдачу растворов при минерализации и средних соленостях среды.
4. Расход КМЦ для улучшения качества раствора составляет: для пресной среды -  $0,5 \div 0,75\%$ ; для соленой среды -  $1 \div 2\%$  от веса глины.
5. Очень хорошо растворяется в воде.

Все перечисленные преимущества химреагента КМЦ могут эффективно использоваться для повышения качества глинистых растворов при их обработке [121].

Обратимся к результатам сравнительного анализа показателей характеристик ТР, который выявил параметры, не соответствующие нормативным требованиям (таблица 3.2.2). Для глинистых растворов, приготовленных на основе глин Чкаловского месторождения (позиция 3, графа 3) при плотности  $\rho = 1,15 \text{ г/см}^3$  значительно завышена водоотдача  $37,7 \text{ см}^3$  за 30 минут при норме  $\leq 30 \text{ см}^3$  за 30 минут. Кроме того, выявлено несоответствие нормативным требованиям следующих показателей глин Вагановского месторождения и месторождения Большие поля:

- условная вязкость (позиция 1, графа 6);
- статическое напряжение сдвига (позиция 2, графа 9);
- суточный отстой (позиция 5, графы 6 и 10);

- стабильность (позиция 7, графы 9 и 10).

Для повышения качества глинистых растворов необходимо довести показатели их характеристик до нормативных значений с помощью универсального химреагента КМЦ. Учитывая ее эффективность при обработке ТР, на первом этапе используется только КМЦ. После обработки глинистого раствора КМЦ по полученным результатам определяется необходимость применения второго дополнительного реагента из группы коллоидов для дополнительной обработки.

#### Подготовка материалов, входящих в состав рецептур тиксотропных растворов

В качестве сырья для приготовления ТР рекомендуется использовать МПГ [92, 93, 116, 121, 127]. Подготовка глинистых грунтов карьеров начинается с оценки их качества по единым критериям разработанной новой методики (без проведения лабораторных исследований) по показателям характеристик глин, представленных в паспортах карьеров.

По результатам оценки качества глинистых грунтов по новой методике определяется возможность их использования в технологии создания ПФЗ способом «стена в грунте».

В случае положительного заключения на использование глин карьеров производится отбор проб. На основе проб глинистых грунтов готовятся сначала маточные растворы плотностью  $\rho = 1,5 \text{ г/см}^3$ , а затем ТР заданной плотности. Последовательность приготовления ТР изложена в пунктах 6.1-6.8 «Программы лабораторных исследований» (Приложение 3).

После приготовления ТР оценивается их качество по стандартной методике и выявляются показатели, не отвечающие нормативным требованиям. Эти показатели представлены в таблице 3.2.1. По показателям, не отвечающим нормативным требованиям, подбираются химические реагенты для обработки глинистых грунтов и получения качественных тиксотропных растворов.

Для подбора химических реагентов проведены специальные лабораторные исследования, по результатам которых был выявлен наиболее эффективный химический реагент из группы коллоидов - КМЦ-400. По результатам исследований было установлено, что наиболее эффективным и экономически обоснованным объемом вводимой добавки КМЦ-400 в раствор является 1% от веса глины.

#### Лабораторные исследования по повышению качества глинистых растворов с помощью химдобавок

В предыдущем подразделе изучены материалы глинистых грунтов карьеров, которые использованы в лабораторных исследованиях глинистых растворов для разработки рецептур. Выполнен выбор химических реагентов для повышения качества глинистых тиксотропных

растворов. Разработана последовательность смешивания компонентов раствора, определено оптимальное (весовое) количество химического реагента и способ его введения в раствор.

Подбор материалов и оценка их качества производились по новой методике - без проведения лабораторных исследований, предписанных действующим нормативом СП45.13330. Результаты оценки качества МПГ представлены в таблице 3.2.2 (позиции 1÷7, графы 3÷10 и 3'÷10'). Оценка качества МПГ осуществлялась в следующей последовательности:

1. Аналитические исследования глинистых грунтов по паспортным данным карьеров.
2. Изучение паспортных показателей характеристик глинистых грунтов.
3. Предварительная оценка качества глинистых грунтов по единым критериям новой методики. Оценка качества МПГ и возможности их использования.
4. Отбор проб глинистых грунтов в каждом карьере изучаемых глинистых грунтов (п. 5.1 Приложения 3).
5. Подготовка отобранных проб глинистых грунтов путем предварительного замачивания. Способ гидратации применяется для диспергации МПГ, которые с трудом поддаются механической обработке. Он основан на расклинивающем действии воды, которая отделяет частицы глинистого грунта (твердого вещества) друг от друга (п. 5.1 Приложения 3).
6. Подготовка глинистых грунтов путем гидратации (замачивания) производится в емкостях в расчете 100 весовых единиц глины на 50 единиц воды.
7. После диспергации (распускания) глинистого грунта в емкостях из полученного объема грунта готовят маточный раствор. Для этого подготовленный объем глины взвешивают на лабораторных весах и после этого заливают заранее определенным количеством воды, доводя раствор до пастообразной смеси плотностью  $\sim 1,5 \text{ г/см}^3$  (маточный раствор).
8. Пастообразный глинистый раствор сливают в мешалку, доливая оставшуюся часть воды, и перемешивают в течение 20-30 минут.
9. Для получения раствора заданной плотности он рассчитывается по формуле, приведенной в «Программе лабораторных исследований» (п. 6.3.2 Приложения 3).
10. После определения количества глины для получения раствора заданной плотности в мешалку вводится химическая добавка.

В производственных условиях густые растворы предварительно готовятся в смесителях, а затем диспергируются на другой установке (диспергатор, насосная перекачка). Такое разделение рационально: на первом этапе выгодно готовить густые растворы (маточные), а затем в процессе диспергации разводить их до заданной плотности.

Химический способ диспергации заключается во введении в глинистый раствор химических реагентов, которые ускоряют разрушение агрегатов глинистых частиц. Это дает

возможность сократить время перемешивания раствора и обеспечить максимальную степень диспергации.

11. Химические реагенты (в нашем случае - КМЦ) следует вводить в виде водных растворов. Это дает возможность более равномерно смешивать глинистый раствор с добавкой.

При проведении лабораторных исследований в нашем случае введен 1% раствор КМЦ, процентное содержание которого определено опытным путем.

После введения химреагента в раствор его перемешивают. Все параметры напрямую зависят от времени его перемешивания, поэтому оптимальное время перемешивания глинистого раствора в смесителе определяется опытным путем до достижения оптимальной степени диспергации. Большую роль при этом играет введенный химреагент (в нашем случае - КМЦ), который способствует интенсивному разрушению агрегатов глинистых частиц, благодаря этому время перемешивания резко сокращается. Это имеет большое значение для повышения производительности труда в процессе производства работ.

12. После приготовления глинистого раствора отбираются его пробы, которые исследуются на приборах в соответствии с [29] и РД 39014001-773-2004. С помощью приборов, перечень которых представлен в Приложении 2, качество полученного глинистого раствора после химобработки оценивалось по семи параметрам. Результаты исследований глинистых растворов представлены в таблице 3.2.2.

Для оценки эффективности химического способа обработки ТР с помощью КМЦ проведен сравнительный анализ качества глинистых растворов (после механической обработки и гидратации) и глинистых растворов после введения 1% раствора КМЦ. Для решения этой задачи исследовались глинистые растворы, приготовленные из МПГ трех карьеров, трех плотностей -  $1,15 \text{ г/см}^3$ ,  $1,20 \text{ г/см}^3$  и  $1,25 \text{ г/см}^3$  (таблица 3.2.2). Оценка качества каждого образца глинистого раствора производилась по семи эксплуатационным параметрам, нормативные показатели которых представлены в СП 45.13330 [129].

В таблице 3.2.2 красным цветом выделены показатели характеристик глинистых растворов, не отвечающие нормативным требованиям. По результатам сравнительного анализа показателей характеристик глинистых растворов до и после химобработки можно сделать вывод, что с помощью химобработки удалось привести к нормативным значениям 9 из 15 показателей. Остальные 6 показателей, значения которых остались за пределами диапазона нормативных значений, относятся к глинистым растворам, приготовленным на основе МПГ месторождения Большие поля [121]. Заключение о низком качестве МПГ этого месторождения было представлено по итогам предварительной оценки их качества. Это еще раз доказывает прогнозную эффективность методики предварительной оценки качества МПГ, разработанной автором диссертационной работы и изложенной в Главе 2.

Что же касается причин низкой эффективности химической обработки глинистых грунтов месторождения Большие поля, то они объясняются низким процентным содержанием глинистых частиц ( $23\% < 40\%$  по нормативу) и высоким процентным содержанием вредных примесей: крупных пылеватых частиц и мелкозернистых пылеватых песков.

**Вывод:** Результаты лабораторных исследований глинистых грунтов двух месторождений - Чкаловского и Вагановского - показали, что приготовление и обработка глинистого раствора химическим реагентом КМЦ позволили получить качественный тиксотропный раствор за счет восстановления и доведения показателей характеристик до нормативных. Восстановлены и доведены до нормативных значений девять показателей вышеперечисленных характеристик.

По результатам экспериментов можно констатировать, что на основе МПГ были приготовлены тиксотропные растворы, полностью соответствующие нормативным требованиям к их качеству [121]. Это подтвердило возможность их эффективного внедрения в практику строительства ПФЗ способом «стена в грунте» [121].

Все результаты получены в лабораторных условиях. Чтобы получить такие же результаты повышения качества ТР в производственных условиях, необходимо учитывать объемы компонентов, используемых в технологическом процессе. Поэтому для развития этой важной темы необходимо решить те же задачи, но в масштабах строительной площадки.

### **3.3. Методика комплексного использования МПГ и разработанная на ее основе технологическая схема создания ПФЗ способом «стена в грунте»**

Результаты комплекса аналитических и лабораторных исследований, представленные в Главе 2 и Главе 3, легли в основу разработанной автором диссертации методики комплексного использования местных полиминеральных глин (МПГ) для приготовления тиксотропных растворов и противofильтрационных материалов, применяемых в строительстве противofильтрационных элементов способом «стена в грунте» (рисунок 3.3.1).

Под комплексным использованием МПГ понимается разработка рецептур двух разных по свойствам и назначению материалов (ТР и ПФМ), приготовленных из МПГ одного месторождения. В современных публикациях под использованием МПГ имеется в виду приготовление на их основе ПФМ, но не ТР. На сегодняшний день в качестве сырья для приготовления ТР безальтернативно используются дефицитные бентонитовые глины, стоимость которых составляет до 35% от общей стоимости строительства ПФЗ способом «стена в грунте».

Разработанная методика, представленная в Приложении 4, направлена на обеспечение возможности широкого внедрения МПГ в технологию строительства ПФЗ способом «стена в грунте», то есть на достижение цели настоящей диссертационной работы. Новая методика представляет собой четкий алгоритм по использованию МПГ в технологии - начиная с анализа исходных данных площадки строительства и заканчивая контролем качества ТР и ПФМ, приготовленных на основе МПГ на стройплощадке.

На основе анализа отечественного опыта использования МПГ в строительстве способом «стена в грунте» и приведенных в Главе 2 и Главе 3 результатов исследований можно сделать вывод, что наибольшего экономического эффекта от замены бентонитовых глин местными полиминеральными глинами можно достичь при создании противofильтрационных завес большой протяженности на открытых площадках (пересеченной местности) с целью защиты окружающей среды от загрязнения (например, при рекультивации техногенно-нагруженных территорий).



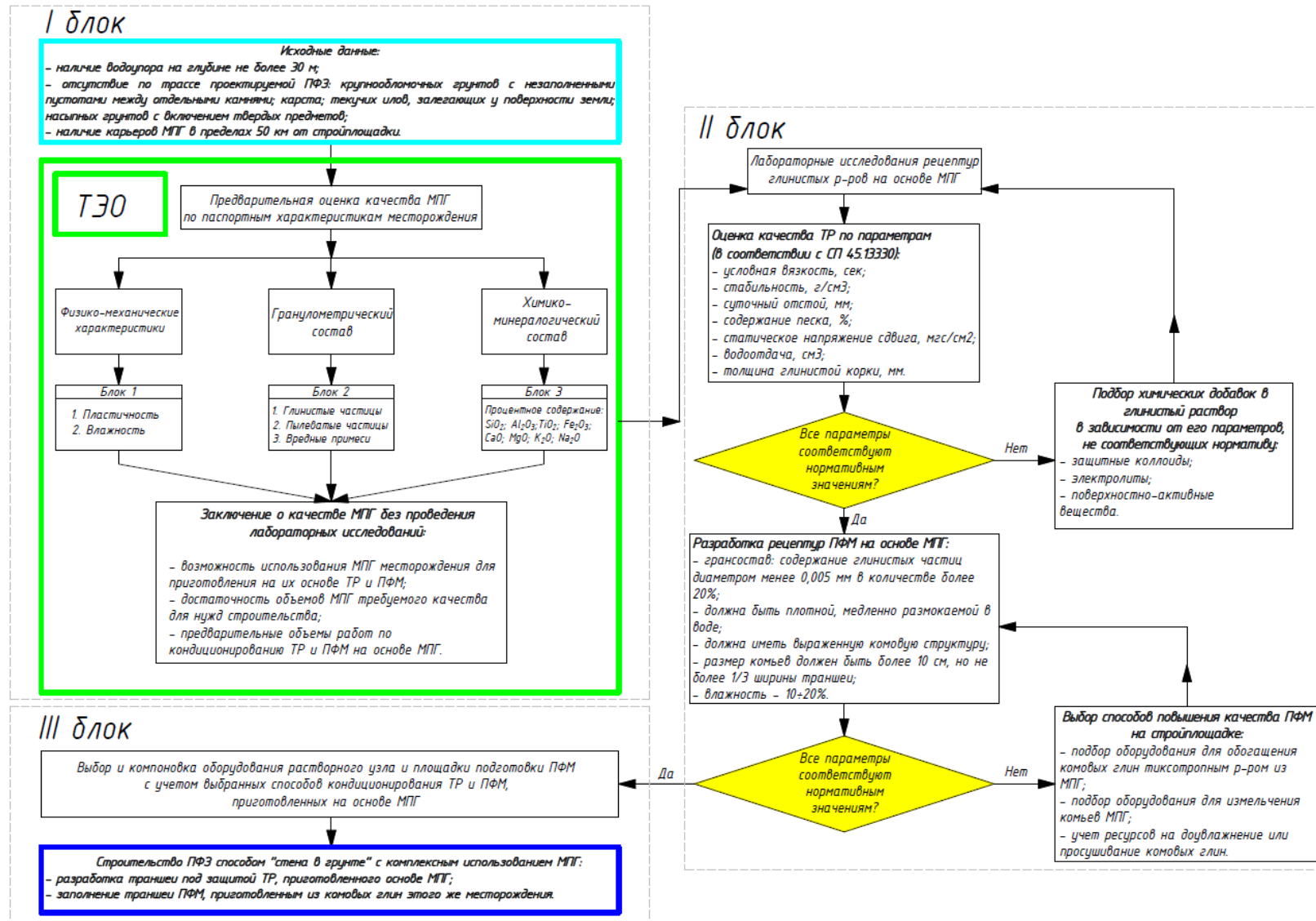


Рисунок 3.3.1 – Блок-схема технологии строительства противофильтрационных завес способом «стена в грунте», основанной на комплексном использовании местных полиминеральных глин [120, 127]

Комплексное использование МПГ в строительстве противofiltrационных завес большой протяженности, создаваемых способом «стена в грунте» с целью защиты подземных и поверхностных вод от загрязнения, наиболее целесообразно и эффективно по следующим причинам [119, 127]:

- возможность вести работы с высокой производительностью, используя непрерывную технологию (пионерный способ) проходки и заполнения траншей;

- создание ПФЗ большой протяженности способом «стена в грунте» снижает требования к качеству ТР, так как обрушение стенки легко устраняется. В отличие от проходки траншеи в стесненных городских условиях [76, 77, 78, 157, 158], где обрушение стенок траншеи требует больших материальных и временных затрат на устранение последствий. Поэтому при освоении подземного пространства городов при проходке траншей должны безальтернативно использоваться тиксотропные растворы, приготовленные на основе бентонитовых глин;

- полиминеральные глины (МПГ) в составе рецептур ТР более устойчивы к агрессивным средам, к которым относятся отходы накопителей вредных производств [141];

- снижается стоимость строительства ПФЗ способом «стена в грунте» за счет замены привозных дорогостоящих, дефицитных бентонитовых глин широко распространенными местными полиминеральными глинами [40, 116, 141];

- снижение стоимости строительства сооружения за счет внедрения разработанных автором диссертационной работы новых конструктивных решений, существенно сокращающих объемы земляных работ при разработке траншей большой протяженности на местности со сложным рельефом (описание инновационных технических решений представлено в Главе 4) [116, 117, 122].

Таким образом, первая задача, сформулированная в цели работы - внедрение в практику строительства широко распространенных МПГ при комплексном использовании их в создании ПФЗ способом «стена в грунте» - на данном этапе частично выполнена. Следующий этап работы посвящен разработке технологии комплексного использования МПГ в производственных условиях на строительной площадке.

Схемы, представленные на рисунках 3.3.1 и 3.3.2, впервые наглядно показывают технологический процесс комплексного использования широко распространенных МПГ в технологии создания протяженных ПФЗ способом «стена в грунте». На схемах наглядно и последовательно представлены возможность и эффективность комплексного использования МПГ в технологии создания протяженных ПФЗ способом «стена в грунте» для защиты окружающей среды от загрязнения [119, 127].

### 3.3.1. Технологическая схема приготовления ТР и комплексного использования МПГ в создании ПФЗ способом «стена в грунте»

Решение задачи комплексного использования МПГ привело к изменению технологических процессов подготовки ТР и ПФМ в целом, а также к изменению отдельных их элементов. Например, на рисунке 3.3.2 показано, что технологический процесс приготовления ТР и ПФМ проводится одновременно, и эти процессы взаимосвязаны. На рисунке 3.3.2 показана последовательность и синхронность технологического процесса приготовления ТР на растворном узле (поз. 1-6) из комовых глин и последующая постоянная его подача по трубе (поз. 7) в зону проходки траншеи (например, грейфером).

И одновременно из комовых глин, которые подвозятся автотранспортом (рисунок 3.3.2, позиция 10) на площадку, ведется процесс подготовки противофильтрационного материала. Площадка расположена вдоль траншеи (поз. 9) на безопасном расстоянии, которое исключает влияние нагрузки от комовых глин на устойчивость стенки траншеи. Ширина площадки - 5 м (поз. 10). Площадка несет двойную функцию: на ней создается запас противофильтрационных материалов ПФМ на 3 дня двухсменной работы по созданию ПФЗ. Вторая функция - подготовка комовых глин перед заполнением траншеи, которая заключается в измельчении комьев глин до размеров не более 20 см дискованием и в обогащении комовых глин тиксотропным раствором, поступающим из емкости (поз. 6) по трубопроводу (поз. 7) на площадку для подготовки ПФМ (поз. 10). Обогащение комовых глин тиксотропным раствором производится в случае необходимости повышения противофильтрационных качеств ПФМ.

В кратком описании технологии комплексного использования МПГ в качестве сырья для приготовления ТР и ПФМ подчеркивается преимущество использования одного вида и качества сырья (МПГ), которое дает возможность организовать одновременно приготовление ТР с использованием его как по основному назначению в технологии проходки траншеи, так и для введения ТР в глинистое сырье в процессе подготовки ПФМ с целью повышения его качества на выделенной площадке (поз. 10).

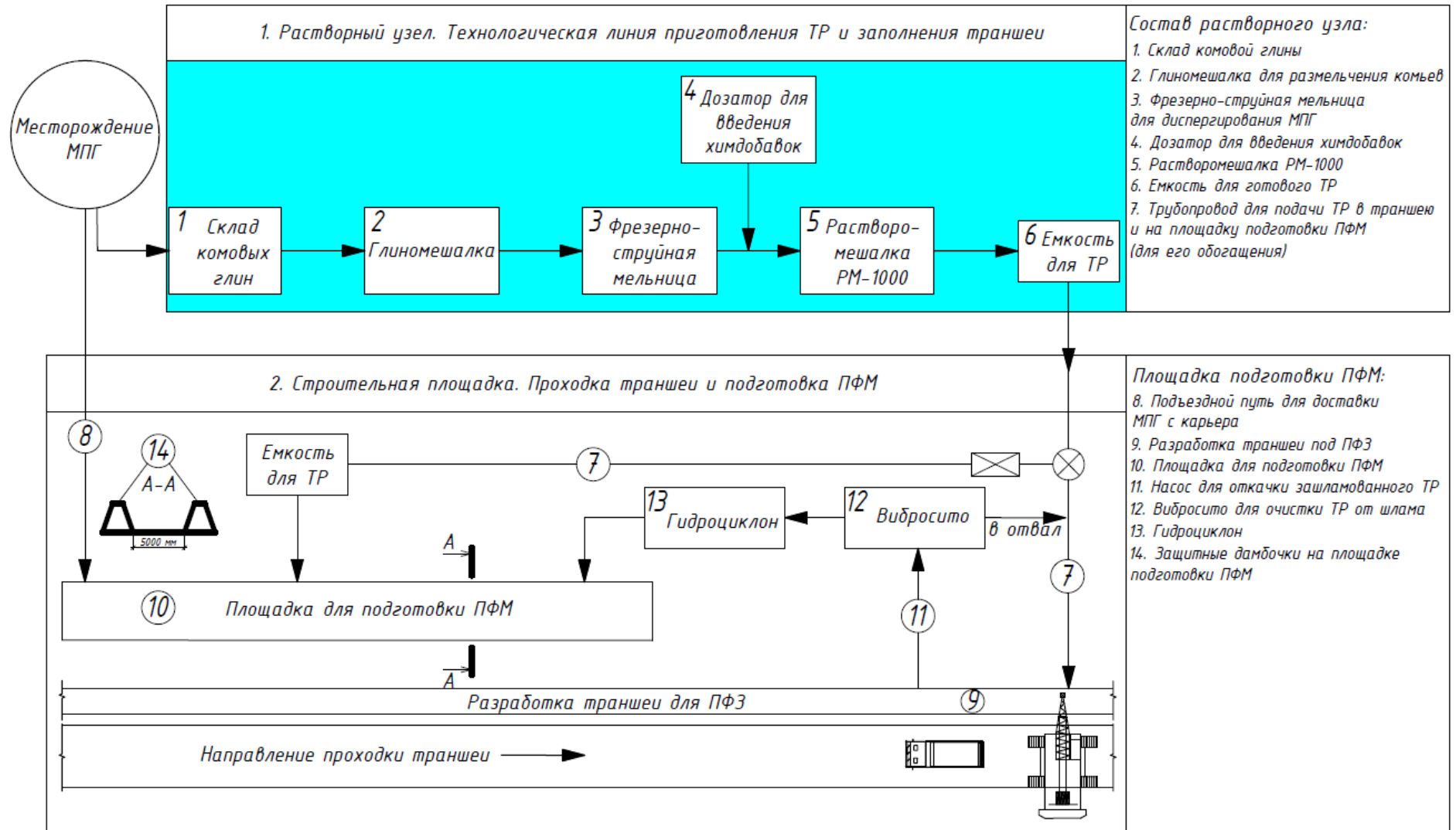


Рисунок 3.3.2 - Технологическая схема строительства противофильтрационной завесы способом «стена в грунте» на основе комплексного использования МПГ

Приведенный пример использования одного вида сырья (МПП) дает возможность организовать выполнение работ по единому технологическому циклу, который охватывает приготовление ТР и его подачу одновременно в зону проходки траншеи для удержания ее стенок от обрушения и на площадку подготовки ПФМ, не ограничивая расходы ТР, предусмотренные рецептурами, так как стоимость сырья из МПП на порядок ниже, чем бентонитовых глин. Кроме того, благодаря единому циклу и использованию ТР из МПП сокращаются сроки строительства.

Комплексное использование МПП для создания ПФЗ приводит к изменениям в технологическом процессе подготовки и обработки глинистого сырья для приготовления на его основе ТР и ПФМ. Изменения в технологии повышают требования к качеству сырья из МПП, используемого для приготовления ТР. Решением поставленной задачи - замена бентонитовых глин местными полиминеральными - является создание качественной и надежной ПФЗ с высокими технико-экономическими показателями. В этой работе выделены те технологические процессы, которые приведут к указанному результату.

Ниже приводится описание особенностей технологического процесса при комплексном использовании МПП.

### 3.3.2. Технология приготовления тиксотропных растворов из МПП. Подготовка глинистого сырья и последовательность его обработки

Приготовление тиксотропного раствора из комовой глины может осуществляться на оборудовании механического действия. Все агрегаты объединяются в технологическую линию, которая входит в состав растворного узла на строительной площадке (поз. 1÷7 на рисунке 3.3.2). Представим краткое описание технологического процесса приготовления ТР из комовых глин, а также роль и значение комплексного использования МПП для приготовления ТР и ПФМ.

1. Процесс приготовления ТР на технологической линии начинается с подачи комовой глины транспортером со склада (поз. 1, рисунок 3.3.2) к месту установки глиномешалки (например, МГ2-4 или Г-2-П2-4,0 отечественного производства) (поз. 2, рисунок 3.3.2). Обработка глинистого грунта на этом типе мешалки позволяет избавиться от крупных включений в его составе. Далее используются мешалки для более тонкой обработки.

2. Опыт использования указанного оборудования в строительстве ПФЗ в ГТС показал, что для более тонкой обработки (дополнительного диспергирования) используются фрезерно-струйные мельницы ФСМ-2 (поз.3, рисунок 3.3.2). При таком разделении в ходе обработки комовых глин появляется возможность готовить густые растворы (маточные растворы).

3. Затем в процессе дальнейшей диспергации и введения концентрированного раствора химдобавки (поз. 4, рис. 3.3.2), который подается в растворомешалку РМ 750÷1500 л (поз. 5, рисунок 3.3.2), глинистый раствор разводится водой и доводится до нужной концентрации (плотности).

4. После приготовления ТР заданной плотности в растворомешалке РМ они подвергаются контролю качества, после чего приготовленный раствор перекачивается в накопительную емкость (поз. 6, рисунок 3.3.2). Накопительная емкость объемом ~20 м<sup>3</sup> оснащена перемешивающим устройством, которое работает постоянно, поддерживая постоянный показатель плотности ТР по высоте накопительной емкости. В зависимости от суточной потребности ТР в процессе создания ПФЗ могут устанавливаться дополнительные накопительные емкости.

5. Тиксотропный раствор из накопительной емкости поступает по трубопроводу (поз. 7, рисунок 3.3.2) на строительную площадку к блоку проходки траншеи для поддержания постоянного уровня раствора в траншее для удержания ее стенок от обрушения и выноса разработанного грунта эрлифтом в случае проходки траншеи вращательным бурением.

6. Вторым потребителем ТР является площадка для подготовки и повышения качества ПФМ (поз. 10, рисунок 3.3.2), которое осуществляется путем обогащения комовых глин тиксотропным раствором, а также путем измельчения комьев дисковым культиватором и их перемешивания с тиксотропным раствором.

Детальный анализ и описание технологического процесса приготовления ТР из МПГ и его последующее использование в технологии создания ПФЗ на строительной площадке даст возможность объективно оценить преимущество комплексного использования МПГ.

### 3.3.3. Технология создания ПФМ из комовых полиминеральных глин

При комплексном использовании глинистых грунтов карьеров процессы приготовления ТР и ПФМ осуществляются параллельно. Поэтому комовые глины с карьера доставляются автотранспортом на:

- склад для приготовления ТР;
- специально подготовленную площадку вдоль трассы траншейной завесы, на которой готовится противофильтрационный материал (поз. 10, рисунок 3.3.2).

Пластичные ПФЗ наиболее эффективно создавать из комовых глин. Но используются также заглинизированный грунт и глинистая паста, которые являются искусственным ПФМ, получаемым путем обогащения местных грунтов (супесей, суглинков) концентрированным глинистым раствором по рецептурам, предусмотренным ППР.

Применение ПФМ для создания ПФЗ ограничивается допустимой величиной градиента напора, который для комовых глин составляет  $I_0 = 30$  [129].

Комовая глина должна отвечать требованиям СП45.13330 и оцениваться по следующим показателям [129]:

- содержать глинистые частицы диаметром менее 0,005 мм в количестве более 20% по массе [102, 121, 143];
- должна быть плотной, медленно размокаемой в воде [102, 121, 129];
- должна иметь выраженную комовую структуру [121, 129];
- размер комьев должен быть более 10 см, но не более 1/3 ширины траншеи [102, 121, 129];
- влажность должна составлять 10÷20%, при этой влажности объемный вес грунта будет составлять  $\sim 1,4 \div 1,5$  г/см<sup>3</sup> - при таком объемном весе комья глины легко погружаются в траншею, заполненную раствором, при ее заполнении ПФМ и не образуют сводов. Благодаря этому создается однородная по водонепроницаемости ПФЗ [58, 59, 141].

Все исследуемые в данной работе глинистые грунты, пробы которых отобраны из месторождений - Чкаловское, Вагановское и Большие поля - отвечают вышеперечисленным требованиям.

Глинистые грунты таких карьеров, которые рекомендованы к использованию в качестве сырья для приготовления ТР, могут гарантированно использоваться в качестве ПФМ для создания ПФЗ способом «стена в грунте» [121].

В тех случаях, когда качество материала-заполнителя траншеи, приготовленного из МПГ, не отвечает нормативным требованиям - улучшения характеристик ПФМ можно добиться следующими способами:

1. Если по итогам оценки качества по новой методике МПГ соответствуют нормативным требованиям, то сразу запускается технологический процесс заполнения пройденного участка траншеи. Если возникает необходимость измельчить комовые глины до требуемых нормативных размеров (10-20 см), то на площадке подготовки ПФМ проводится дискование комовых глин перед заполнением траншеи.

2. Обогащение комовых глин осуществляется путем их перемешивания с тиксотропным раствором, приготовленным на основе МПГ того же месторождения и подаваемым по трубопроводу (позиция 7, рисунок 3.3.2) из емкости (позиция 6, рисунок 3.3.2) на площадку подготовки ПФМ (поз. 10). После завершения цикла обработки, включающего контроль качества готового ПФМ, комовые глины подаются для заполнения пройденного участка траншеи.

3. Обогащение комовых глин тиксотропным раствором вторичного использования (загрязненного разрабатываемым в траншее грунтом). Этот вариант обогащения ПФМ из комовых глин применим только при условии, что показатели параметров исходного ТР отвечают всем нормативным требованиям [129]. При вторичном использовании ТР, который вытесняется из блока траншеи при ее заполнении ПФМ, осуществляется его откачивание насосом на установку для очистки.

Цикл откачки и очистки ТР выполняется в следующей последовательности:

- раствор насосом (поз. 11, рисунок 3.3.2) подается на вибросито (поз. 12, рисунок 3.3.2), отсеянные примеси подаются на транспортер и сбрасываются в отвал;
- частично очищенный раствор поступает на гидроциклонный шламоотделитель (поз. 13, рисунок 3.3.2), в котором производится окончательная очистка раствора от шлама;
- очищенный раствор через накопительную емкость насосом подается на площадку подготовки ПФМ, где его смешивают с комовыми глинами;
- после прохождения контроля качества разработанная траншея заполняется обогащенными комовыми глинами.

Вторичное использование ТР, приготовленных на основе МПГ, с целью обогащения ПФМ должно быть обосновано технико-экономическими показателями, так как очистка загрязненных растворов является трудоемким и ресурсоемким технологическим процессом. Особо следует отметить, что вторичное использование ТР из МПГ в технологическом процессе проходки траншеи для удержания ее стенок от обрушения - не допускается.

### **Выводы по Главе 3:**

1. Проведены исследования МПГ карьеров для оценки их качества по новой методике. Для проведения эксперимента разработана «Программа лабораторных исследований» (Приложение 3), в которой отражена цель исследований - обоснование внедрения в практику строительства широко распространенных и экономически эффективных МПГ для приготовления ТР и ПФМ в проектировании и строительстве гидротехнических сооружений и сооружений инженерной защиты, выполняемых способом «стена в грунте».

2. Определены показатели параметров ТР, изучено их влияние на качество ТР. По итогам анализа полученных результатов выявлены показатели параметров, не соответствующие нормативным требованиям, которые представлены в таблице 3.2.1.

3. Разработана технология подготовки глинистого сырья из МПГ и способы его обработки для повышения качества ТР и ПФМ. Исследование качества глинистого сырья позволило определить факторы, в наибольшей степени влияющие на его качество, и проблемы, возникающие на строительной площадке при очистке МПГ от вредных примесей.



В зависимости от степени загрязненности глинистого сырья и от состава вредных примесей разработаны способы обработки сырья из МПГ для повышения качества ТР.

Для обработки сырья и повышения качества ТР в технологии использованы способы:

- механический;
- гидратационный;
- химический.

После обработки глинистого сырья разработаны рецептуры тиксотропных растворов. Исследовано качество ТР после обработки. Результаты исследований представлены в таблице 3.2.2.

4. Лабораторные работы по повышению качества глинистых тиксотропных растворов (ТР) выполнены с определенной тщательностью и последовательностью.

В таблице 3.2.2 представлены результаты лабораторных исследований ТР, которые проводились в 2 этапа - 1-й этап - ТР, приготовленные из глин после их механической обработки, без химобработки; 2-й этап - ТР после их обработки химдобавками.

Исследование ТР из МПГ, которые обрабатываются методом гидратации:

- пробы глинистых грунтов замачиваются и несколько дней выдерживаются;
- после обработки гидратацией очищенный от вредных примесей раствор сливается в лабораторную глиномешалку и, таким образом, производится дополнительная механическая обработка.

После первого этапа производится сравнительный анализ полученных эксплуатационных параметров раствора с их нормативными показателями по СП 45.13330 [129], и при необходимости подбираются химдобавки, после чего производится 2-й этап обработки.

Лабораторные исследования показали, что после двухэтапной обработки глинистых грунтов получены качественные тиксотропные растворы. Восстановлены и доведены до нормативных значений девять показателей характеристик ТР. Это подтверждает возможность и эффективность их комплексного внедрения в технологию строительства ПФЗ способом «стена в грунте».

5. В разделе 3.3 изучалась эффективность комплексного использования МПГ в технологии создания ПФЗ способом «стена в грунте». Исследования и разработки были направлены на изучение технологических процессов и особенностей технологии подготовки ТР и ПФМ в условиях строительной площадки, где используются значительные объемы компонентов (сырья) в технологическом процессе подготовки и укладки ПФМ в траншею. Поэтому возникла необходимость учитывать степень их влияния на качество ПФЗ.

На схемах (рисунки 3.3.1 и 3.3.2) показана технология создания ПФЗ способом «стена в грунте», основанная на комплексном использовании МПГ. Технология включает в себя следующие процессы:

- приготовление ТР и его подачу в зону проходки траншеи;
- одновременно с подачей в зону проходки траншеи ТР подается и на площадку подготовки ПФМ для его обогащения (для повышения противодиффузионных свойств ПФМ).

При этом расходы ТР в случае производственной необходимости не ограничиваются, так как стоимость МПГ на порядок ниже, чем бентонитовых глин. Благодаря комплексному использованию МПГ и выполнению работ по единому технологическому циклу сокращаются сроки строительства.

6. В представленном разделе работы последовательно показан технологический процесс (в производственных условиях) комплексного использования МПГ для создания ПФЗ:

- предварительная оценка качества МПГ по новой методике и выбор МПГ (рисунок 3.3.1);
- технологическая линия подготовки ТР (рисунок 3.3.2, позиция 1);
- технология приготовления ПФМ на строительной площадке и два способа обогащения ПФМ тиксотропным раствором из МПГ (рисунок 3.3.2, позиция 2).

#### **Глава 4. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ УСТРОЙСТВА ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ЗАВЕС, ВЫПОЛНЯЕМЫХ СПОСОБОМ «СТЕНА В ГРУНТЕ» С УЧЕТОМ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МПГ**

Для достижения цели диссертационной работы необходимо обеспечить эффективность и надежность эксплуатации ПФЭ, возведенных способом «стена в грунте» с применением методики комплексного использования МПГ. Внедрение в практику строительства гидротехнических сооружений способом «стена в грунте» широко распространенных местных глин требует разработки специальных конструктивных решений, которые позволят обеспечить проектные параметры ПФЗ большой протяженности, возводимых способом «стена в грунте» на местности со сложным рельефом с целью инженерной защиты территорий, прилегающих к хранилищам отходов I-V класса опасности.

По итогам проведения комплекса аналитических и лабораторных исследований, результаты которых представлены в предыдущих главах диссертации, были выявлены ключевые проблемы, препятствующие широкому внедрению МПГ в технологию строительства ПФЗ способом «стена в грунте». В связи с этим автором были поставлены задачи, направленные на устранение указанных препятствий:

- разработка новых конструктивных решений для устранения проблем, возникающих при возведении ПФЗ большой протяженности;

- оптимизация перечня исходных данных о проектируемом объекте и поиск методов расширения границ применимости методики комплексного использования МПГ в строительстве способом «стена в грунте»;

- поиск методов оценки и повышения эффективности работы ПФЗ, созданной на основе комплексного использования МПГ по разработанной методике.

Для решения вышеуказанных задач автором были проработаны следующие вопросы:

1. Совершенствование технологии производства работ и конструктивных элементов при создании противofильтрационной завесы способом «стена в грунте».

2. Разработан способ создания водонепроницаемого сопряжения противofильтрационной завесы, сооружаемой на площадке с разновысокими отметками методом «стена в грунте» [120, 122].

3. Разработан каскадный способ создания противofильтрационной завесы (ПФЗ), сооружаемой способом «стена в грунте» на откосе с уклоном больше нормативного [117, 120].

4. Апробирована методика комплексного использования МПГ для приготовления ТР и ПФМ при создании ПФЗ способом «стена в грунте» вокруг накопителей токсичных отходов в г. Чапаевск [121, 127].

При разработке новых конструктивных решений для создания ПФЭ способом «стена в грунте» автор опирался на действующие нормативные документы, используемые при проектировании и строительстве ГТС, в частности нормативно-методические документы в части проектов организации строительства и проектов производства работ [84, 113, 129, 130, 131].

Разработка инновационных конструктивных решений и технологических карт для их практического применения в гидротехническом строительстве в совокупности с методикой комплексного использования местных полиминеральных глин позволили разработать конкретные технические решения [120]. Наибольший технико-экономический эффект от их применения может быть достигнут при разработке и реализации проектов противофильтрационных завес, создаваемых с целью защиты окружающей среды от загрязнения отходами производств, содержащихся в отвалах и накопителях [121, 127].

Автор диссертационной работы принимал непосредственное участие в разработке перечисленных выше инновационных технических решений, на два из них автором в соавторстве получены патенты (Приложение 4). Технологические карты, представленные в п. 4.2 и п. 4.3 настоящей Главы, разработаны автором лично. Разработанная автором диссертационной работы методика комплексного использования МПГ представлена в Приложении 4.

#### **4.1. Разработка оптимальных конструктивно-технологических решений, направленных на расширение области применения способа «стена в грунте» в гидротехническом строительстве**

Отечественный опыт создания ПФЗ способом «стена в грунте» выявил области наиболее эффективного их применения и пути их совершенствования. В первой главе диссертации приводятся примеры гидротехнических сооружений, на которых способ «стена в грунте» эффективно применялся при возведении протяженных противофильтрационных завес из нетвердеющих заполнителей (в том числе, на основе полиминеральных глин) для инженерно-экологической защиты территорий, прилегающих к накопителям промышленных отходов [33, 58, 119]. Кроме того, ПФЗ такого типа успешно решали задачу по сокращению потерь воды из водохранилищ ГЭС, ГАЭС и каналов [5, 33, 56, 58].

Полученный опыт создания ПФЗ большой протяженности из пластичных глинистых грунтов (МПГ) способом «стена в грунте» указал на ряд преимуществ технологии:

- глиногрунтовые ПФМ из МПГ обладают более высокой устойчивостью к агрессивным средам, чем высококачественные глины [141];

- широкая распространенность карьеров МПГ, которые можно использовать комплексно
- для приготовления и ТР, и ПФМ [120];

- использование местных ресурсов (МПГ) взамен дорогостоящих бентонитовых глин, что в значительной степени позволит снизить стоимость строительства ПФЗ способом «стена в грунте» в различных регионах страны [120, 121, 127].

Кроме того, открытые площади для создания ПФЗ большой протяженности позволяют использовать высокопроизводительные машинокомплексы для проходки траншей, подготовки ПФМ и ТР и укладки их в траншею.

При всех вышеперечисленных преимуществах таких завес они обладают рядом конструктивных особенностей, которые могут нивелировать преимущества внедрения инновационной методики комплексного использования МПГ и в целом - использования способа «стена в грунте» при сооружении ПФЗ большой протяженности [120].

Дело в том, что сооружение ПФЗ большой протяженности сопряжено с работами на открытых площадках со сложным рельефом, практически на пересеченной местности, где уклон поверхности земли зачастую превышает  $3^\circ$  и где есть необходимость создания водонепроницаемого сопряжения завес, сооружаемых на разновысотных отметках (с перепадом более 5 м) способом «стена в грунте» [111]. Анализ действующих профильных нормативов показал, что эти задачи сегодня могут быть решены только путем значительного увеличения объема земляных работ при вертикальной планировке поверхности трассы завесы, что неминуемо увеличивает сроки и стоимость сооружения ПФЗ [120, 140].

Для устранения этих проблем автором в соавторстве разработаны технические решения: «Каскадный способ создания создания противодиффузионной завесы (ПФЗ), сооружаемой способом «стена в грунте» на откосе с уклоном более  $3^\circ$ » [117] и «Способ создания ПФЗ на площадке с разновысокими отметками методом «стена в грунте»» [120, 122].

#### **4.2. Каскадный способ создания противодиффузионной завесы (ПФЗ)**

Важно отметить, что классические конструктивные решения, используемые при создании ПФЗ большой протяженности способом «стена в грунте» в отечественной и зарубежной строительной практике, разработаны с учетом устройства таких ПФЗ на горизонтальных площадках. В тех случаях, когда трассу траншеи необходимо проложить на площадке даже с небольшим уклоном поверхности (более  $3^\circ$ ), возникает необходимость в подсыпке больших объемов грунта [120]. Увеличение объемов земляных работ, в свою очередь, приводит к увеличению сроков и стоимости, что в большинстве случаев становится

объективной причиной отказа от строительства ПФЗ способом «стена в грунте» еще на этапе технико-экономического обоснования [120].

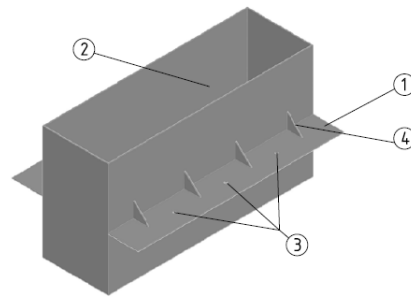
С целью устранения этой проблемы автор диссертации в соавторстве разработал технологию создания ПФЗ на участке большой протяженности, которая получила название «каскадный способ создания ПФЗ методом «стена в грунте» на откосе с уклоном более  $3^\circ$ » и при уровне грунтовых вод - ниже отметки верха траншеи менее 1 м [117, 120].

За прототип инновационного конструктивного решения, разработанного автором, выбран способ, заключающийся в подсыпке и уплотнении дополнительных объемов грунта, в результате чего обеспечивается горизонтальность установки форшахты [140] по трассе траншеи и возможность поддержания уровня ГР в траншее выше уровня подземных вод на  $1 \div 1,5$  м [20, 120, 129].

Инновационное конструктивное решение упрощает технологию устройства траншейной завесы на трассе с уклоном более  $3^\circ$  [120]. В состав производства работ по его реализации на подготовительном этапе входят: разбивка трассы траншеи на блоки (захватки) и их нумерация; выравнивание поверхности земли в пределах блока (захватки); разработка траншеи под форшахту; установка и сборка форшахты многоразового использования на нечетных блоках с указанием их номеров [120].

В рамках нового способа создания ПФЗ автором разработана конструкция форшахты многоразового использования (рисунок 4.1) в виде прямоугольного в плане металлического короба, сваренного из металлических листов шириной, на 0,15 м превышающей ширину ковша грейфера, и длиной, на 0,3 м превышающей максимальное раскрытие ковшей грейфера [117, 120].

## Металлическая форшахта многоразового использования



## Примечания

- ① Опорное фиксирующее ребро
- ② Рабочая зона (объем) форшахты
- ③ Отверстия под фиксаторы форшахты
- ④ Ребро жесткости
- ⑤ Естественный уклон поверхности трассы ПФЗ
- ⑥ Вертикальная планировка в пределах блока (захваток)
- ⑦ Установка форшахты в нечетных блоках (захватках)
- ⑧ Установка форшахты в четных захватках после заполнения и консолидации ПФМ в нечетных захватках

## Каскадный способ создания ПФЗ

Вертикальная планировка в рамках блока и установка форшахты

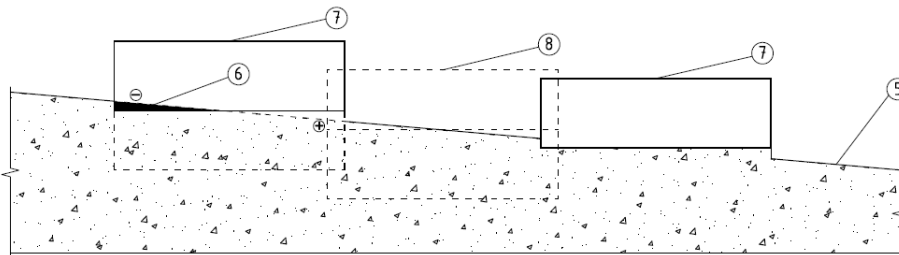


Рисунок 4.1 – Каскадный способ создания ПФЗ. Вертикальная планировка и форшахта многоразового использования

Преимуществом разработанного конструктивного решения является значительное, по сравнению с прототипами, сокращение объемов земляных работ - вертикальная планировка производится в пределах каждого блока (захватки) отдельно [117, 120]. Для обеспечения горизонтальности участка трассы траншеи в пределах блока не требуется привлечение тяжелых землеройных механизмов. Так, например, при выравнивании поверхности блока с габаритными размерами 2,8 м x 0,85 м (габариты траншеи под форшахту) и с уклоном поверхности более 3° необходимо ликвидировать перепад высот в 12,5 см, для чего применяются исключительно средства малой механизации [120].

Устройство каскада горизонтальных блоков (захваток) по всей длине наклонного участка трассы обеспечит горизонтальность установки форшахты и устойчивость стенок траншеи при ее проходке на проектную глубину [117, 120].

После вертикальной планировки в пределах блока (захватки) отрывается траншея (max. 1,0 м глубиной), в которую устанавливается металлическая форшахта многоразового использования таким образом, чтобы обеспечить превышение отметки верха форшахты над уровнем грунтовых вод не менее 2,0 м [117, 120, 129].

Установка и монтаж секций форшахты при блочной проходке непрерывной траншеи осуществляется с помощью кранов на предварительно подготовленную горизонтальную площадку грунта в пределах захватки или на ж/б плиты.

Сооружение траншейных завес по новой технологии (рисунок 4.2) производится способом чередующихся блоков - сначала осуществляется проходка нечетных блоков траншеи, а затем – четных блоков путем разработки грунтовых целиков, оставленных между нечетными блоками [117, 120].

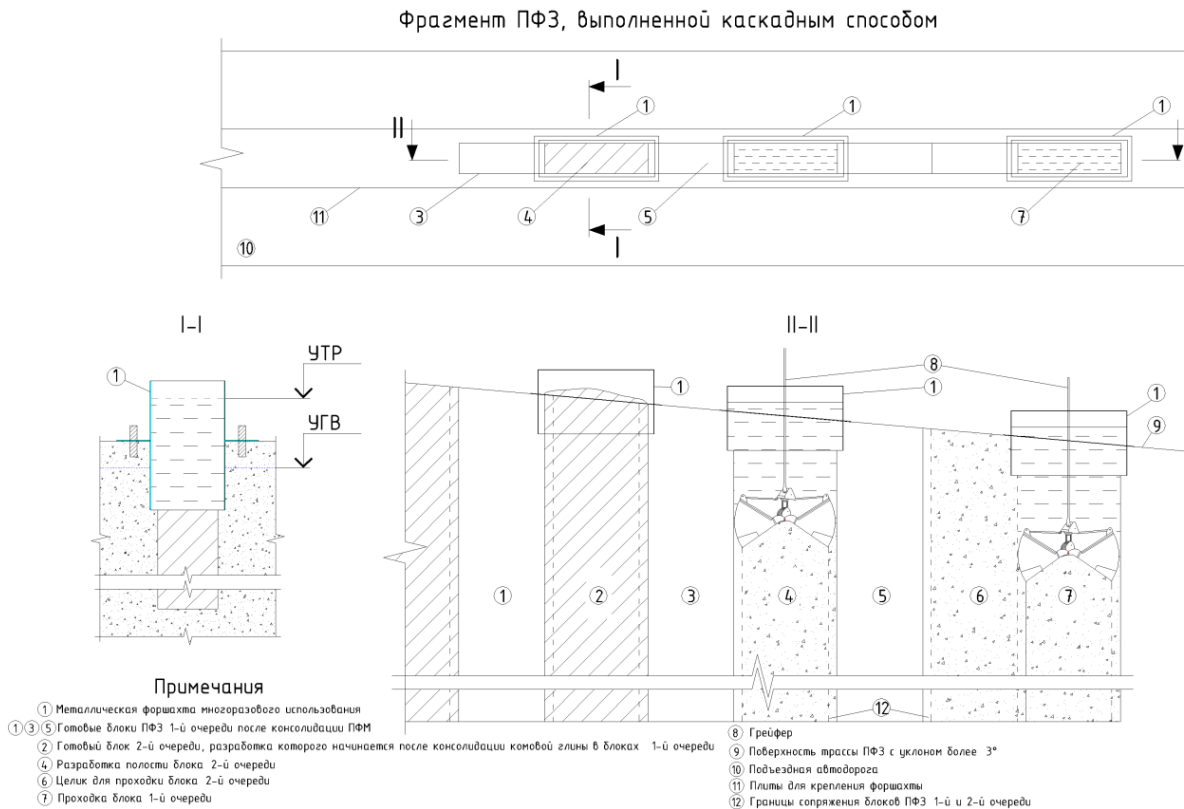


Рисунок 4.2 – Технологическая карта создания ПФЗ каскадным способом при уклоне трассы более 3° или высоком уровне грунтовых вод

После установки форшахты в пределах блока (захватки) отрывается траншея под защитой глинистого раствора, приготовленного по методике комплексного использования МПГ, до проектной отметки с врезкой в водоупор на глубину не менее 1,0 м [120]. После очистки дна выработки от слоя шлама, образовавшегося во время ее проходки, траншея заполняется противотрационным материалом (ПФМ) – карьерной комовой глиной (по методике комплексного использования МПГ) до отметки, на 0,3 м превышающей отметки поверхности земли (рисунок 4.2) [120].

После завершения процесса омоноличивания и консолидации ПФМ из комовой глины в блоках первой очереди секции форшахты снимаются и монтируются между блоками первой очереди, длина которых составляет порядка двух метров – это на 0,5 м меньше длины



раскрытия грейфера (длина раскрытия ковшей грейфера  $\approx 2,5$  м). Благодаря этому создаются условия для надежной стыковки нечетных и четных блоков. Технология проходки четных блоков траншеи и их заполнение ПФМ из комовых глин в точности повторяет технологию проходки и заполнения нечетных блоков.

Проходка и заполнение блоков (захваток) завесы второй очереди начинается через 2-3 недели после заполнения блоков (захваток) первой очереди [120]. Формирование тела стенки и происходящие при этом процессы изложены в первой главе диссертации (см. п. 1.5) и в литературных источниках [36, 58, 63, 84, 104-107]. Блоки 2-й очереди траншеи после их проходки заполняются комовыми глинами с помощью грейфера или способом ВПТ, который используется при бетонировании блоков (захваток).

Такой способ укладки ПФМ дает возможность более качественно уложить комовые глины в траншею, не допуская образования в ней сводов. Это позволяет создать условия для формирования в узкой глубокой траншее из комовых глин сплошного однородного (по проницаемости и по противодиффузионной устойчивости) тела стенки при заданном градиенте напора.

Использование каскадного способа в технологии возведения траншейных завес способом «стена в грунте» позволит:

- исключить проведение вертикальной планировки всей трассы завесы, которая исключает подсыпку больших объемов грунта и земляных работ, включающих его уплотнение;
- обеспечить устойчивость стенок траншеи от обрушения на трассе большой протяженности с уклоном более  $3^\circ$ , которая достигается за счет поддержания уровня тиксотропного раствора в металлической форшахте выше уровня грунтовых вод не менее чем на 1,5 м в соответствии с СП 45.13330 [129, 133].

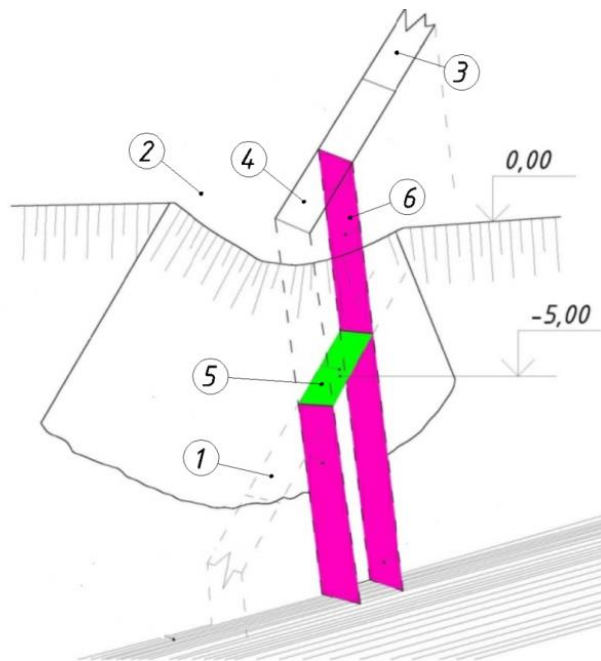
#### **4.3. Способ создания водонепроницаемого сопряжения противодиффузионных завес, сооружаемых методом «стена в грунте» на площадке с разновысокими отметками**

Строительство ПФЗ большой протяженности зачастую осуществляется на пересеченной местности со сложным рельефом, включая участки со значительным перепадом высот. В таких случаях возникает проблема обеспечения качественного водонепроницаемого сопряжения противодиффузионных завес, сооружаемых на разновысоких отметках [120]. С такой проблемой сталкиваются проектировщики и строители, например, при сооружении новых карт золоотвала или хвостохранилищ, примыкающих к эксплуатируемому объекту, который имеет вертикальный противодиффузионный элемент, а также при необходимости сопряжения ПФЭ плотины с берегами.

В современной практике эта проблема решается путем водонепроницаемых сопряжений отдельных блоков (захваток). Сплошность завесы обеспечивается за счет стыков (швов), которые выполняются в шахматном порядке или последовательно в зависимости от способа проходки траншеи и используемого оборудования.

Однако указанная технология успешно используется только на горизонтальных участках трассы ПФЗ. При больших перепадах высот между площадками, на которых сооружаются сопрягаемые противодиффузионные элементы, задача обеспечения сплошности траншейной противодиффузионной завесы за счет сопряжения блоков (захваток) не может быть решена путем вертикальной планировки площадки. В таких случаях необходимость проведения больших объемов земляных работ ставит под сомнение, по экономическим соображениям, дальнейшее использование указанной технологии создания ПФЗ.

Для решения этой задачи автором диссертационной работы в соавторстве разработано новое конструктивное решение, прототипом которого является широко применяемый в строительстве способ создания ПФЗ из отдельных блоков (захваток) (рисунок 4.3) [41, 140].



*1 - противодиффузионная завеса на нижней отметке -5,00 м; 2 - площадка, образуемая отсыпкой грунта, для проходки сопрягающей захватки; 3 - противодиффузионная завеса на верхней отметке 0,00 м; 4 - сопрягающая захватка; 5 - горизонтальная плоскость сопряжения завес на разновысоких отметках; 6 - вертикальная плоскость сопряжения завес*

Рисунок 4.3 – Сопряжение захваток ПФЗ на площадке с разновысокими отметками

Технологический процесс создания сопряжения ПФЗ, сооружаемых на площадке со значительным перепадом высот, состоит из трех этапов [122]. На первом этапе на нижней отметке -5,00 м (рисунок 4.3) сооружается ПФЗ способом чередующихся блоков - под защитой

тиссотропного раствора, приготовленного из МПГ, осуществляется разработка блоков (захваток) траншеи, после чего они заполняются противofильтрационным материалом (комовой глиной того же карьера) [120, 122].

На втором этапе, после завершения процесса консолидации материала-заполнителя (ПФМ) и образования сплошной водонепроницаемой завесы за счет сопряжения блоков (захваток), поверх ПФЗ, сооруженной на отметке -5,00 м, отсыпается грунт с послойным уплотнением до образования горизонтальной площадки на отметке 0,00 м с естественным откосом для сооружения сопрягающего блока (рисунок 4.4) [120, 122].

После формирования тела насыпи на отметке 0,00 м и подготовки горизонтальной площадки на ее гребне начинается сооружение сопрягающей ПФЗ с завесой существующей дамбы с насыпью и завесой, выполненной в ее основании.

На третьем этапе на гребне насыпи (отметка 0,00 м) способом чередующихся блоков сооружается сопрягающая завеса. Сначала сооружается сопрягающий блок (поз. 4 на рисунке 4.3) - грейфером отрывается траншея до отметки -5,50 м, которая заполняется комовой глиной по методике комплексного использования МПГ. После заполнения сопрягающего блока траншеи противofильтрационным материалом создается водонепроницаемое сопряжение между противofильтрационными завесами, сооруженными на отметках -5,00 м и 0,00 м, в горизонтальной и вертикальной плоскостях [120, 122]. Далее поочередно сооружаются остальные блоки ПФЗ на отметке 0,00 м (рисунки 4.3 и 4.4).

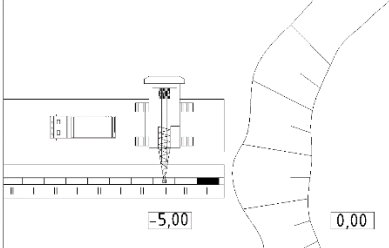
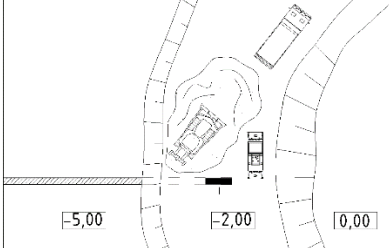
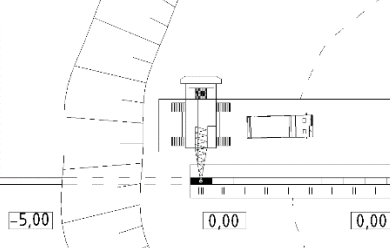
Первый этап	Второй этап	Третий этап
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Устройство форшахты</li> <li>2. Проходка траншеи грейфером на отметке -5,00 м способом чередующихся блоков под защитой тиссотропного раствора: I очередь - нечетные блоки; II очередь - четные блоки.</li> <li>3. Грунт, вынутый грейфером, разгружается в автосамосвалы и вывозится в отвал.</li> <li>4. Заполнение полости траншеи комовой глиной.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Отсыпка грунта поверх готовой противofильтрационной завесы (ПФЗ) после консолидации в ней противofильтрационного материала (ПФМ) стенки на отм. -5,00 м.</li> <li>2. Разравнивание отсыпанного грунта бульдозером.</li> <li>3. Послойное уплотнение отсыпанного грунта катком с образованием площадки на отметке 0,00 м с естественным откосом для сооружения сопрягающего блока.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Устройство форшахты.</li> <li>2. Проходка траншеи грейфером на отметке 0,00 м способом чередующихся блоков под защитой тиссотропного раствора, начиная с сопрягающего блока III с заглублением его на 0,5 м в блок I противofильтрационной завесы, сооруженной на отм. -5,00 м.</li> <li>2. Грунт, вынутый грейфером, разгружается в автосамосвалы и вывозится в отвал.</li> <li>3. Заполнение полостей блоков траншеи комовой глиной с образованием водонепроницаемого сопряжения с помощью сопрягающего блока III.</li> </ol>
Самосвал КамАЗ-5511, грейфер Casagrande	Самосвал КамАЗ-5511, виброкаток ВОМАН BW211D-4, бульдозер Б-170	Самосвал КамАЗ-5511, грейфер Casagrande
		

Рисунок 4.4 – Технологическая карта создания ПФЗ способом «стена в грунте» на площадке со сложным рельефом [120]

В результате избегая значительного увеличения объема земляных работ по вертикальной планировке, получаем качественное сопряжение противofильтрационных завес, создаваемых способом «стена в грунте» на разновысоких отметках [120].

Разработанные автором диссертационной работы инновационные способы, на которые получены авторские свидетельства (Приложение 5), снимают ограничения на использование способа «стена в грунте» при создании ПФЗ на пересеченной местности 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 [15, 120, 127];
- создания противofильтрационных завес большой протяженности (до нескольких километров) с целью инженерно-экологической защиты объектов размещения сырья, продуктов и отходов промышленного производства I-V классов опасности [42, 120, 121].

#### **4.4. Внедрение методики комплексного использования МПГ на примере создания ПФЗ на объекте в г. Чапаевск**

В истории отечественного ГТС уже совершались успешные попытки комплексного внедрения МПГ в технологию строительства гидротехнических сооружений способом «стена в грунте», что подробно описано в Главе 1. Однако опыт использования МПГ в технологии создания ПФЗ не нашел широкого применения в ГТС по причине отсутствия профильного норматива, который учитывал бы особенности работы с МПГ при создании на их основе ТР и ПФМ при реализации технологии «стена в грунте».

В Приложении 4 впервые представлена разработанная автором диссертационной работы методика комплексного использования МПГ для создания ПФЗ способом «стена в грунте», которая обеспечит возможность широкого внедрения МПГ в практику ГТС.

Важным этапом для решения этой задачи стало внедрение методики комплексного использования 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 [118, 121, 124, 125, 127].

Объект в Чапаевске относится к территориям с накопленным экологическим ущербом, оказывающим негативное влияние на здоровье населения и экологическую ситуацию в регионе [127, 138, 139, 145]. В ряде проб грунта, отобранных на рекультивируемой территории, концентрация токсикантов превышала предельно допустимые показатели в тысячи раз (по данным ФГУП «ГосНИИОХТ», 2013) [127]. Сильному загрязнению подвержены подземные и поверхностные воды [47, 49, 135]. Многочисленные факторы непрерывного негативного антропогенного воздействия на окружающую среду требовали срочного проведения

мероприятий по экологической реабилитации площадки бывшего ОАО «СВЗХ» [124, 135, 136, 147].

Анализ результатов инженерных изысканий в границах проектирования показал, что наиболее негативным фактором воздействия на здоровье населения и экосистему территории является разлив токсичного фильтрата из переполняющихся во время паводка накопителей отходов на прилегающие площади и водные объекты [127, 132, 135]. Эти негативные процессы были обусловлены отсутствием надежного инженерного барьера для защиты поверхностных и подземных вод от загрязнения [47, 49, 124, 128, 132].

Ключевым техническим решением в рамках проекта рекультивации территории СВЗХ, разработанным при непосредственном участии автора диссертационной работы, являлось создание способом «стена в грунте» по контуру накопителей высокотоксичных отходов (рисунок 4.5) противофильтрационных завес (ПФЗ), замкнутых на естественное водоупорное основание, совокупной протяженностью более 4,5 км [54, 118, 121, 127]:

- для шламонакопителя отстойно-регулирующей емкости сточных вод (О1) - 0,92 км [127];
- для отстойника промышленных минеральных сточных вод (О2) - 1,22 км [127];
- для шламонакопителя, расположенного севернее территории бывшего ОАО «СВЗХ» за р. Чапаевка (Ш1) - 1,36 км [127];
- дляшламоотстойника производства пентахлорфенолята натрия, гексахлорана и гексахлорбензола (Ш2) - 1,08 км [127].

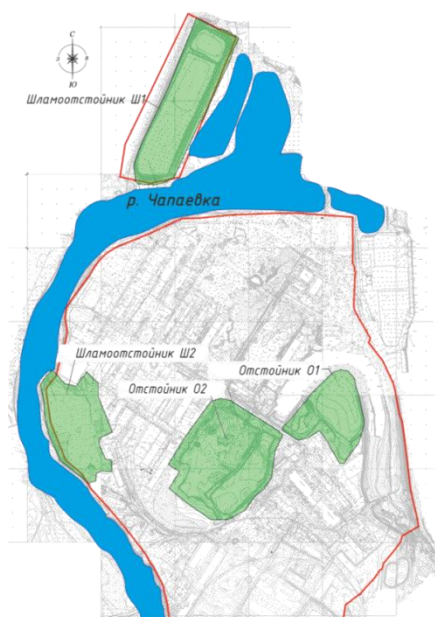


Рисунок 4.5 – Рекультивируемые накопители токсичных отходов на территории СВЗХ

На первом этапе необходимо было определить применимость методики для условий объекта. С этой целью был проведен анализ инженерных изысканий [14, 50]. На изучаемой территории СВЗХ в ходе анализа результатов изысканий было подтверждено отсутствие: крупнообломочных грунтов с незаполненными пустотами между отдельными камнями; карста; текучих илов, залегающих у поверхности земли; насыпных грунтов с включением твердых предметов (например, брошенные рельсы, балки) - то есть отсутствие тех особенностей подземного пространства участка строительства, которые исключают использование способа «стена в грунте» [121].

Анализ инженерно-геологических и инженерно-гидрогеологических условий рекультивируемой территории показал наличие двух вариантов водоупорного основания ПФЗ - это верхнечетвертичные глины, залегающие на глубине от 7,0 м до 16,4 м, и глины верхнего неогена, являющиеся региональным водоупором мощностью свыше 10 м, залегающего на глубине 30 м (рисунок 4.6) [118].

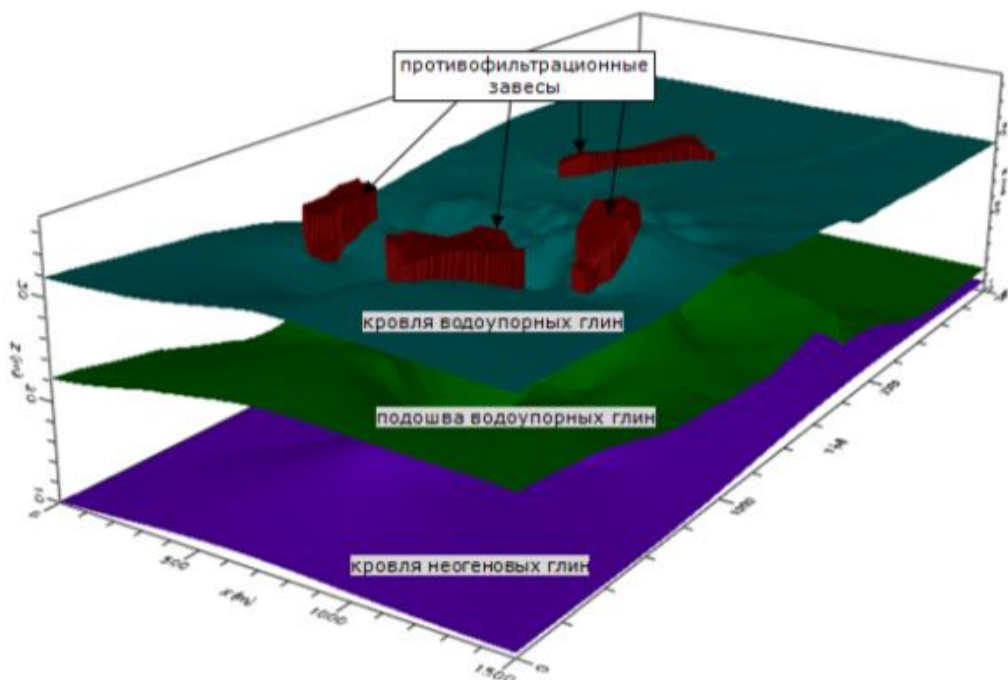


Рисунок 4.6 – Расположение рекультивируемых накопителей на численной модели

От характеристик выбранного основания ПФЗ во многом зависела технико-экономическая целесообразность устройства противофильтрационного элемента способом «стена в грунте» [53, 72, 118, 153]. При выборе основания ПФЗ ключевым критерием качества являлись фильтрационные характеристики водоупорных грунтов [48, 118, 162-164].

Для решения задачи по выбору оптимального водоупорного основания, а также с целью комплексной оценки эффективности ПФЗ для рекультивации территории СВЗХ с помощью программного пакета Processing Modflow была разработана численная геофильтрационная

модель участка работ, на которой были воспроизведены гидрогеологические условия рекультивируемой территории СВЗХ [91, 154, 161].

В качестве исходных данных для создания геофильтрационной модели использовались архивные отчеты по инженерным изысканиям 2013 года, а также результаты интерпретации графоаналитическим методом в программе ANSDIMAT специальных опытно-фильтрационных работ и натурных наблюдений за уровнем режимом площадки СВЗХ [110]. В этой части автор диссертационной работы участвовал в составлении программы специальных ОФР и в камеральной обработке результатов кустовых откачек.

Результаты опытно-фильтрационных работ доказали возможность использования верхнечетвертичных глин в качестве водоупорного основания проектируемой ПФЗ: значение горизонтального коэффициента фильтрации  $K_{\phi}$  составило 0,1–0,002 м/сут, а вертикального - 0,001–0,0001 м/сут [27, 118].

Важно отметить, что если бы при выборе водоупорного основания ПФЗ за основу были взяты выводы инженерно-геологических изысканий без проведения специальных ОФР и создания геофильтрационной модели, то безальтернативно в качестве основания ПФЗ был бы выбран региональный водоупор, идеальный с точки зрения противοфильтрационных свойств, но залегающий на глубине 30 м и более.

В случае выбора регионального водоупора в качестве основания сильно выросли бы затраты на создание глубокой комбинированной стенки в грунте (с твердеющим заполнителем траншеи или с комбинированным заполнителем комовая глина + глиноцементный раствор). В нашем случае 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».

В рамках прогнозного этапа моделирования в основаниях ПФЗ с помощью геофильтрационной модели были рассчитаны скорости фильтрации в верхнечетвертичных водоупорных глинах (слой №2) в условиях реального гидродинамического режима подземных вод [127]. На рисунке 4.7 показаны разрезы через рекультивируемые сооружения с векторами скоростей фильтрации [127].

Полученные скорости фильтрации в основании рекультивируемых накопителей высокотоксичных отходов не превысили  $10^{-4}$  м/сут, при средней скорости -  $2 \cdot 10^{-5}$  м/сут [127]. При минимальной мощности слоя верхнечетвертичных водоупорных глин 4 м, минимальная продолжительность фильтрации через водоупор составит 109 лет, средняя - около 550 лет [127].

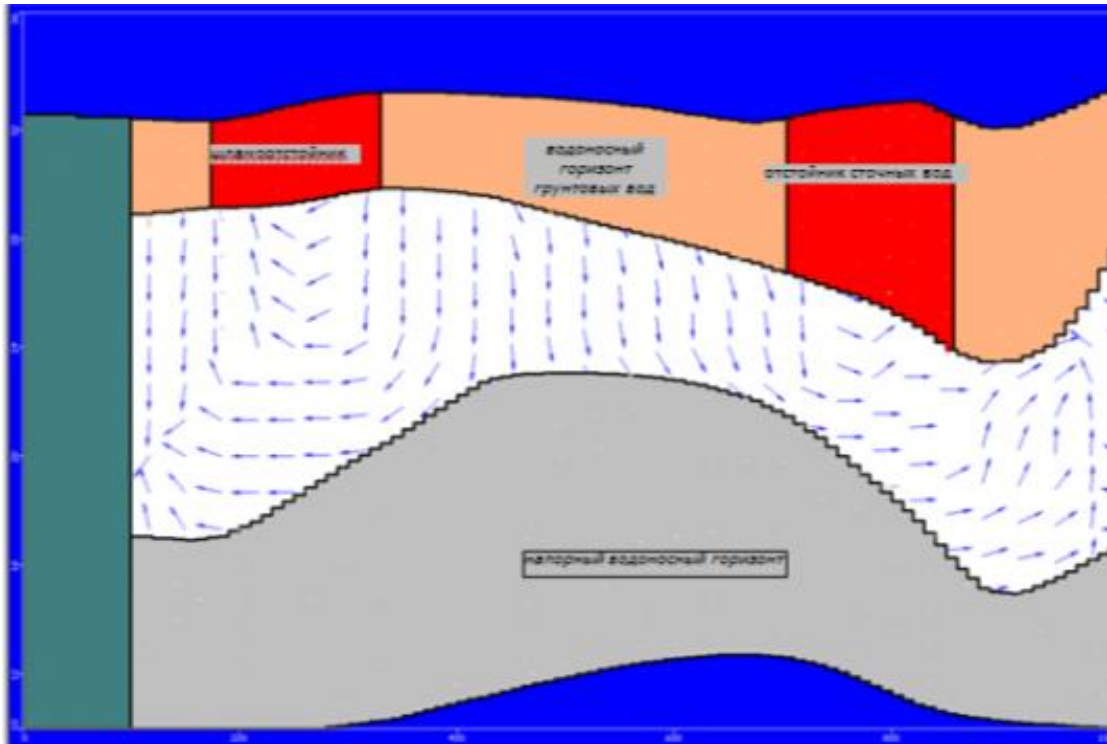


Рисунок 4.7 – Разрез через шламоотстойник производства пентахлорфенолята натрия, гексахлорана и гексахлорбензола (Ш2) и отстойник промышленных минеральных сточных вод (О2) с векторами скоростей фильтрации [127]

Использование в качестве водоупорного основания верхнечетвертичных глин позволило ограничить глубину (высоту) проектируемой совершенной противофильтрационной завесы до 17,4 м (рисунок 4.8). При минимальной ширине ПФЗ – 0,7 м - максимальный градиент напора на ПФЗ составит  $I=L/t=17,4/0,7=24,9$  [119, 121]. При этом должно соблюдаться условие:

$$I < I_d \text{ [129]}$$

где  $I$  – градиент напора на завесе, определенный расчетом [129];

$I_d$  – допустимый градиент напора, который принимается по таблице 4.1 [129].

Таблица 4.1 - Допустимые величины градиентов напора для ПФМ [129]

Материал заполнения ПФЗ	Допустимый градиент напора $I_d$ для сооружения [129]	
	для постоянного	для временного
Бетон	150	200
Глиноцементный раствор	100	150
Комовая глина	30	50
Заглинизированный грунт	20	30 [129]

Для комовой глины как материала-заполнителя  $I_d = 30$  (таблица 4.1) [102, 129]. Таким образом, была доказана возможность устройства пластичной стенки в грунте с заполнителем из



местных полиминеральных глин по периметру четырех накопителей высокотоксичных отходов СВЗХ.

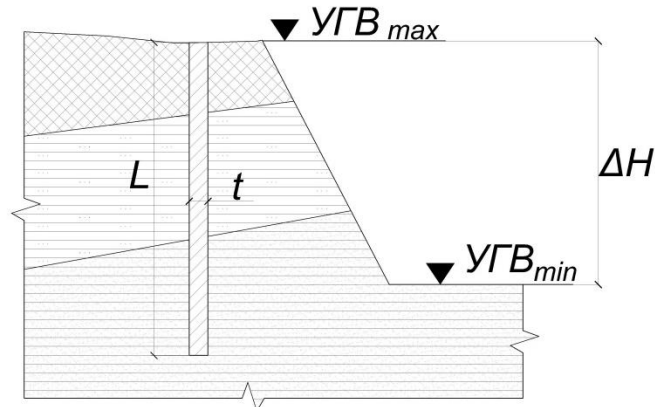


Рисунок 4.8 – Расчетная схема ПФЗ:  $L$  – глубина завесы,  $t$  – ширина завесы,  $\Delta H$  – действующий напор [121]

#### 4.4.1. Оценка качества МПГ карьера, расположенного в Самарской области

В соответствии с методикой комплексного использования МПГ на первом этапе осуществлялась оценка качества местных глинистых материалов. В частности, был рассмотрен вариант с комплексным использованием глинистых грунтов на территории бывшего завода химикатов. Однако из-за высокой степени их химического загрязнения эти грунты были признаны непригодными для возведения ПФЗ.

В итоге в качестве источника глинистого сырья для строительных нужд объекта было выбрано Преображенское месторождение, находящееся в Самарской области, в 40 км от стройплощадки [121, 127].

В ходе предварительной оценки качества глинистых грунтов были использованы их характеристики, представленные в паспорте месторождения. Из паспорта месторождения в специальную форму (таблица 4.2), взятую из методики комплексного использования МПГ (см. Приложение 4), были занесены показатели характеристик глин и глинистых грунтов в соответствии с едиными критериями оценки качества МПГ, перечень которых был утвержден в Главе 2 диссертационной работы.

Таблица 4.2 – Характеристики глинистых грунтов Преображенского месторождения (номер паспорта в федеральном геологическом фонде - Б-15300)

Преображенское месторождение находится в Волжском р-не Самарской области. Глина используется в качестве керамзитового сырья и кирпично-черепичного сырья

Блок 1	Физико-механические характеристики	Единица измерения	Значение показателя	Среднее значение	Нормативное значение (регламентирующий документ)
Показатели характеристик 1-го блока	1.1. Пластичность	%	21,0-23,0%	22,0%	≥ 20% (СП45.13330.2017, ГОСТ 5180-2015, ГОСТ 25100-2020 (табл. Б.17))
	1.2. Влажность	%	13,0-19,0%	16,0%	Для ТР - 5÷20% Для ПФМ - 10÷25% (ГОСТ 30416-2020)
Блок 2	Гранулометрический состав	Диаметр частиц, мм	Содержание фракции, %	Среднее значение показателя, %	Нормативное значение (регламентирующий документ)
Показатели характеристик 2-го блока	2.1. Глинистые	<0,001	26,0%	-	≥ 40% (СП45.13330.2017 ГОСТ12536-2014)
		<0,005	41,8%	-	
	2.2. Пылеватая фракция	0,05÷0,005	32,2%	-	≤ 30%
	2.3. Крупные пылеватые фракции	0,05÷0,01	-	-	≤ 15% Вредные примеси, которые необходимо удалить гидратацией
	2.4. Мелкозернистые пылеватые пески	0,1÷0,05	-	-	
2.5. Песок крупный	1÷0,5	-	-		
Блок 3	Химико-минералогический состав	Единица измерения	Значение показателя	Среднее значение показателя	Нормативное значение (регламентирующий документ)
Показатели характеристик 3-го блока	3.1. $SiO_2$	%	59,39-65,72%	62,5%	1. Повышенное содержание $Fe_2O_3$ и $K_2O$ присуще гидрослюдистым глинам и МПГ. 2. Повышенное содержание $SiO_2$ , $Al_2O_3$ , $CaO$ , $MgO$ является признаком наличия высокого процента содержания глинистой фракции 0,001÷0,005 мм в МПГ. 3. Повышенное содержание $SiO_2$ и низкое содержание $Al_2O_3$ и $Fe_2O_3$ присущи суглинкам при сравнительном анализе проб глин и суглинков.
	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%	

Анализ паспортных данных по единым критериям предварительной оценки качества позволил отнести глинистые грунты Преображенского месторождения к разряду пригодных для использования в технологии производства работ способом «стена в грунте» по следующим признакам.

**Блок 1:**

- Число пластичности (позиция 1.1)  $I_p = 22,5\%$  при норме в соответствии с СП45.1330  $I_p = 20\%$  - отвечает нормативным требованиям к их качеству и указывает на степень дисперсности и гидрофильности глинистого грунта. По классификации ГОСТ 25100 (табл. Б.14) при  $I_p > 17$  грунт относится к глинам [22];

- Влажность (позиция 1.2). Усредненный показатель естественной влажности  $W = 16\%$ . Глинистые грунты указанной влажности могут без обработки (подсушка, дискование) использоваться для приготовления ПФМ и ТР.

**Блок 2:**

Из представленных проб Преображенского карьера по содержанию глинистых частиц наибольший интерес вызвал образец №6, грансостав которого представлен двумя фракциями глинистых частиц:  $< 0,001$  мм - 26,0%;  $< 0,005$  мм - 41,8% - и пылеватыми частицами (0,05-0,005 мм) - 32,2% (таблица 4.2).

Очень высокое содержание глинистых частиц (суммарно - 67,8%) в глинистом грунте образца №6 позволяет сделать вывод, что он относится к качественным тяжелым глинам. Наличие и высокое содержание глинистых частиц подчеркивает высокую, в физико-химическом отношении, активность. Благодаря этому эти глины можно отнести к качественному сырью для приготовления высокодисперсных систем - тиксотропных растворов (ТР).

**Блок 3:**

Косвенным признаком высокого процента содержания глинистой фракции в глинах Преображенского месторождения является повышенное содержание  $SiO_2$  (поз. 3.1) и  $Al_2O_3$  (поз. 3.2).

По итогам предварительной оценки качества глин Преображенского месторождения целесообразно отметить следующее:

- исследуемые глины могут использоваться в качестве основы для приготовления ТР и ПФМ при сооружении ПФЗ способом «стена в грунте» с учетом их механической и химической обработки, что можно учесть на стадии ТЭО;

- при отборе проб глин необходимо использовать селективный способ разработки месторождения по результатам анализа продольных и поперечных разрезов по залежам глинистых грунтов - это обусловлено пестрым грансоставом валовых проб.

В соответствии с рекомендациями на Преображенском месторождении было отобрано шесть образцов наиболее характерных разностей. По критерию содержания глинистых частиц и числу пластичности наиболее пригодными для приготовления ТР были признаны два образца грунта Преображенского месторождения - №4 и №6.

#### 4.4.2. Лабораторные исследования глинистых растворов, приготовленных на основе МПГ Преображенского месторождения [121]

В соответствии с методикой комплексного использования МПГ в строительстве ПФЗ способом «стена в грунте» на заключительном этапе оценки качества глинистого сырья Преображенского месторождения исследовались приготовленные на основе образцов №4 и №6 глинистые растворы трех разных плотностей – 1,15; 1,20; 1,25 г/см<sup>3</sup>.

*Исследование глинистых растворов проводилось в следующей последовательности [121]:*

1. Проба глины размачивалась в расчетном объеме воды для приготовления раствора необходимой плотности [121].
2. После распускания глинистого грунта в воде полученная масса для диспергации переливалась в лабораторную глиномешалку и перемешивалась в ней в течение 30 минут [121].
3. Определение эксплуатационных параметров глинистых растворов на приборах лаборатории ЛГР-3 [121]. Нормативные значения параметров и приборы в составе лаборатории ЛГР-3 приведены в таблице 4.3 [121].
4. Сравнение фактических эксплуатационных параметров с нормативными значениями этих параметров, представленными в СП 45.13330 [129].
5. В случае несоответствия того или иного эксплуатационного параметра нормативному значению необходимый химический реагент выбирается в соответствии с блок-схемой, представленной в методике комплексного использования МПГ (Приложение 4).
6. Проведение контрольных замеров эксплуатационных параметров глинистого раствора с добавкой химреагента.
7. Цикл исследований повторяется до приведения всех эксплуатационных параметров к нормативным значениям.

Таблица 4.3 – Перечень основных эксплуатационных параметров для оценки качества тиксотропного раствора [56, 127, 129]

№ п/п	Эксплуатационный параметр [127]	Технологическая функция [127]	Прибор для измерения величины эксплуатационного параметра (ЛГР-3) [127]	Нормативное значение по СП45.13330 [127, 129]
1	Плотность	Определяет величину гидростатического давления на забой и на стенки траншеи [56, 127]	Ареометр АГ-2	$1,0 \div 1,3 \text{ г/см}^3$
2	Условная вязкость	Характеризует подвижность раствора, способность проникать в трещины и поры стенок траншеи, проявляя при этом кольматационные свойства [56, 127]	Вискозиметр СПВ-5	$18 \div 50 \text{ сек}$
3	Отстой	Определяет меру гидрофильности и структурообразующей способности глин [56, 127]	Мерный цилиндр объемом $100 \text{ см}^3$	$\leq 4 \%$
4	Стабильность	Определяет способность удерживать во взвешенном состоянии частицы выбуренной породы [56, 127]	Стабилометр ЦС-2	$\leq 0,03 \text{ г/см}^3$
5	Содержание песка	Характеризует степень загрязненности тиксотропного раствора [56, 127]	Отстойник ОМ-2	$\leq 4 \%$
6	Водоотдача	Характеризует способность глинистого раствора отдавать воду контактирующим породам [56, 127]	ВМ-6	$\leq 30 \text{ см}^3 \text{ за } 30 \text{ мин}$
7	Толщина глинистой корки	Характеризует степень водоотдачи ТР [56, 127]	ВМ-6	$\leq 4 \text{ мм}$
8	Статич. напряжение сдвига	Характеризует прочность коагуляционной структуры [56, 127]	СНС-2	$10 \div 50 \text{ мг/см}^2$ [127, 129]

В результате проведенных исследований (таблица 4.4) было установлено, что значения эксплуатационных параметров глинистого раствора, приготовленного из образца №6, соответствуют нормативным значениям при плотности от  $1,21$  до  $1,24 \text{ г/см}^3$  [121, 127].

Глинистый раствор, приготовленный на основе образца №4, при плотности  $1,2 \div 1,25 \text{ г/см}^3$  оказался низкого качества - в результате опытов №6 и №7 (таблица 4.4) произошло разделение фаз (показатели отстоя - 30% и 50% соответственно). Только при плотности  $1,25 \text{ г/см}^3$  отстой составил 12%, а стабильность -  $0,07 \text{ г/см}^3$  [121]. В результате исследований было установлено, что без обработки химдобавками и дополнительной механической обработки глины образца №4 непригодны для получения глинистого раствора необходимого качества [121, 127].

Способ обработки глинистого раствора, приготовленного из образца №4, выбирался, исходя из параметров, значения которых необходимо привести к нормативным (таблица 4.4) [121]:

1. Стабильность – при плотности:  $\rho = 1,24 \text{ г/см}^3 - 0,3 \text{ г/см}^3$  [121];

$$\rho = 1,20 \text{ г/см}^3 - 0,2 \text{ г/см}^3 \text{ [121];}$$

$$\rho = 1,25 \text{ г/см}^3 - 0,07 \text{ г/см}^3 \text{ [121].}$$

Нормативное значение стабильности (по СП 45.13330) -  $0,03 \text{ г/см}^3$  [121, 129], т.е. стабильность исследуемого глинистого раствора была в  $2,5 \div 10$  раз выше нормативных значений.

2. Содержание песка -  $10 \div 14 \%$  - при нормативном показателе  $\leq 4\%$  [121, 129].

3. Отстой –  $30\%$ ;  $50\%$ ;  $12\%$ , а должен быть не более  $4\%$  [121, 129].

Таблица 4.4 – Результаты исследования глинистых растворов на приборах ЛГР-3 [121]

№ опыта	№ образца	Параметры раствора							
		Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup> [121]	Вязкость $\tau$ , сек [121]	Отстой $O$ , % [121]	Стабильность $S$ , г/см <sup>3</sup> [121]	Песок $\Pi$ , % [121]	Водоотдача $B$ , см <sup>3</sup> [121]	Глинистая корка $K$ , мм [121]	Статическое напряжение сдвига, мг/см <sup>2</sup> [121]
		1,0÷1,3* [129]	18÷50 [129]	$\leq 4$ [129]	$\leq 0,03$ [129]	$\leq 4$ [129]	$\leq 30$ за 30 мин [129]	$\leq 4$ [129]	10÷50 [129]
1	№6 [121]	1,24 [121]	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 [121]	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 [121]							
9		1,25	45	1	0,01	11	5	1	17,00
10	1,25	30	1	0,02	11	5	1	7,00 [121]	

Примечание: 1,0÷1,3\* - нормативные значения эксплуатационных параметров ТР по СП 45.13330 [121, 129]

Для регулирования показателя стабильности глинистых растворов используются химические реагенты из группы защитных коллоидов (реагенты-стабилизаторы) - карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ), углещелочной реагент (УЩР) и сульфит-спиртовая барда (ССБ) [56, 121, 127].

Из практики известно, что после обработки глинистого раствора реагентами УЩР и ССБ его стабильность повышается, но при этом снижаются значения показателей вязкости и статического напряжения сдвига [56, 121, 127]. В нашем же случае требовалось увеличение

значений этих параметров. В связи с этим в качестве химической добавки была выбрана КМЦ, которая улучшает общие характеристики раствора и снижает водоотдачу.

КМЦ - это натриевая соль целлюлозогликолевой кислоты, представляющая собой рассыпчатое твердое вещество кремового цвета [56, 121, 127]. Преимущество КМЦ - в ее универсальности и совместимости со всеми реагентами и видами химической обработки глинистых растворов [56, 121, 127].

Предпринятые попытки улучшить показатели качества раствора не увенчались успехом. Даже после химической обработки (опыты №9 и №10 в таблице 4.4) глинистого раствора, приготовленного из образца №4, содержание песка и статическое напряжение сдвига не соответствовали нормативным значениям. Таким образом, глинистые растворы с указанными характеристиками могут использоваться в технологическом процессе только в случае острой необходимости и только с использованием барботажа. В нашем случае такой необходимости нет, поэтому глина образца №4 не рекомендована для приготовления ТР в технологии строительства ПФЗ способом «стена в грунте».

Здесь стоит еще раз акцентировать внимание на том, что если опираться только на критерии выбора МПГ для приготовления ТР, которые приведены в таблице 14.1 СП45.13330 [129], то образец №6 был бы признан некондиционным в связи с повышенным содержанием песка в составе, а образец №4 был бы забракован в связи с недостаточным процентным содержанием глинистых частиц. Однако результаты лабораторных исследований, проведенных автором диссертационной работы с учетом внедрения методики комплексного использования МПГ в технологию «стена в грунте», доказали возможность полноценной замены бентонитовых глин местными глинами для приготовления тиксотропных растворов.

#### 4.4.3. Разработка рецептур ПФМ по методике комплексного использования МПГ

В соответствии с разработанной методикой комплексного использования МПГ основными критериями качества глинистых грунтов для приготовления материала-заполнителя траншеи являются:

- глина должна быть плотной и медленно размокаемой в воде [102, 121, 129];
- размеры комьев глины должны находиться в диапазоне от 10 см до 1/3 ширины траншеи [102, 121, 129];
- естественная влажность должна быть близка к пределу раскатывания, консистенция твердая, полутвердая или тугопластичная (т.е. с показателем консистенции  $0 < I_L \leq 0,50$ ) [102, 121, 129];
- содержание глинистых частиц диаметром менее 0,005 мм - не менее 20% по массе [102, 121, 129];

- отсутствие органических примесей [121].

При этом важно отметить, что глинистые грунты, пригодные для приготовления тиксотропных растворов, признаются пригодными и в качестве заполнителя противofильтрационной завесы. Так, коэффициенты фильтрации исследованной комовой глины образца №6 составили  $1,42 \cdot 10^{-5} \div 2,25 \cdot 10^{-5}$  м/сут, что характеризует ее как высококачественный противofильтрационный материал, готовый к комплексному использованию - для приготовления и ТР, и ПФМ [121, 127].

Однако в ходе работ выяснилось, что запасы глины образца №6 в карьере были ограничены объемом  $15500 \text{ м}^3$  и не покрывали суммарной потребности технологического процесса создания противofильтрационной завесы в качественном глинистом сырье - для приготовления ТР и ПФМ одновременно.

Для решения этой проблемы был предложен вариант – использовать качественную глину Преображенского месторождения (образец № 6) в качестве сырья для приготовления ТР [121, 127]. А поскольку глинистые грунты образцов №№ 3, 4, 5 без их обработки не соответствовали требованиям к качеству ПФМ, то было принято решение об улучшении их характеристик путем обогащения специальным тиксотропным раствором, полученным из глинистых грунтов образца №6, в соотношении: 30% глины образца № 6 (из которой готовится глинистый раствор плотностью  $1,35 \div 1,5 \text{ г/см}^3$ ) и 70 % глинистого грунта одной из образцов №№ 3, 4, 5 [121, 127].

*Лабораторные исследования качества ПФМ проводились в следующей последовательности [121, 127]:*

1. Из навески глины образца №6 готовился раствор плотностью  $\rho = 1,3 \div 1,5 \text{ г/см}^3$ , который перемешивается с глинистым грунтом (образцы №3, 4 и 5) в количестве 70% от веса замеса [121, 127].

2. Тщательное перемешивание полученной смеси, после которого ее выдерживают в течение 24 часов для формирования однородной массы [121, 127].

3. Определение коэффициента фильтрации смеси в фильтрационно-компрессионном приборе ПКФ-01 по ГОСТ 25584-2016 при градиентах напора  $I = 19; 30; 50$ , где  $I_p = 19$  – расчетный (проектный) градиент напора, полученный для максимальной глубины стенки – 13 м и ее ширины 0,7 м;  $I_d = 30$  – допустимый градиент напора (для комовой глины);  $I_{кр} = 50$  – критический градиент напора, при котором в ходе лабораторных исследований произошло разрушение образца [121, 127].

На основе полученных опытных данных коэффициент фильтрации рассчитывался по формуле [121, 127]:

$$K_{\phi} = \frac{Q \cdot l \cdot 864}{F \cdot H \cdot T(0,7 \div 0,03)}$$

где:  $Q$  – объем фильтрации,  $\text{см}^3/\text{сут}$  [127];



$l$  – высота образца, см [127];

$F$  – площадь фильтрующей поверхности образца, см<sup>2</sup> [127];

$H$  – напор, см [127];

$T$  – время фильтрации, с [127];

864 – коэффициент, позволяющий выразить  $K_{\phi}$  в м/сут [127].

В таблице 4.5 представлены результаты исследований трех рецептур ПФМ [121, 127]:

Рецептура №1 – 30% глины образца № 6 (глинистый раствор плотностью 1,35÷1,5 г/см<sup>3</sup>) + 70% образца № 3 (комовая глина) [121, 127].

Рецептура №2 – 30% глины образца № 6 (глинистый раствор плотностью 1,35÷1,5 г/см<sup>3</sup>) + 70% образца № 4 (комовая глина) [121, 127].

Рецептура №3 – 30% глины образца № 6 (глинистый раствор плотностью 1,35÷1,5 г/см<sup>3</sup>) + 70% образца № 5 (комовая глина) [121, 127].

Таблица 4.5 – Показатели коэффициента фильтрации глинистых грунтов Преображенского месторождения, полученных на фильтрационном стенде [121, 127]

№ п.п.	Характеристики образца			Напор, $H$	Градиент напора, $I$	Продолжительность фильтрации, $T$	Расход, $Q$	Коэф. фильтрации
	№ рецептуры	$l$	$S$					
		см	см <sup>2</sup>	см		сут	см <sup>3</sup> /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	$0,9 \cdot 10^{-5}$ [121, 127]

По результатам исследований можно сделать вывод, что все разработанные рецептуры могут использоваться в качестве надежного ПФМ ( $K_{\phi} = 10^{-5}$  м/сут). Непосредственно на стройплощадке подготовленные компоненты (ТР и комовые глины) по разработанной рецептуре ПФМ перемешиваются навесными фрезами, дисковыми боронами или специальными грунтосмесительными машинами, например, БС-2К или ГСТ (гидромониторный смеситель) [127]. Качество приготовленной смеси оценивается строительной лабораторией. После чего разработанную траншею с помощью грейфера или бульдозером (с торца траншеи) заполняют полученным качественным противофильтрационным материалом.

4.4.4. Оценка эффективности ПФЗ, выполненной с применением методики комплексного использования МПГ Преображенского месторождения, на численной модели

Эффективность ПФЗ, выполненной по периметру накопителей высокотоксичных отходов на территории СВЗХ, оценивалась с помощью описанной ранее геофильтрационной модели. На численной модели, на которой были воспроизведены геологические и гидрогеологические условия района, был произведен расчет гидродинамического режима с учетом разработанных проектных решений [127]. На рисунках 4.9 и 4.10 изображены пространственные схемы распределения уровней подземных вод на исходный и прогнозный периоды [127].

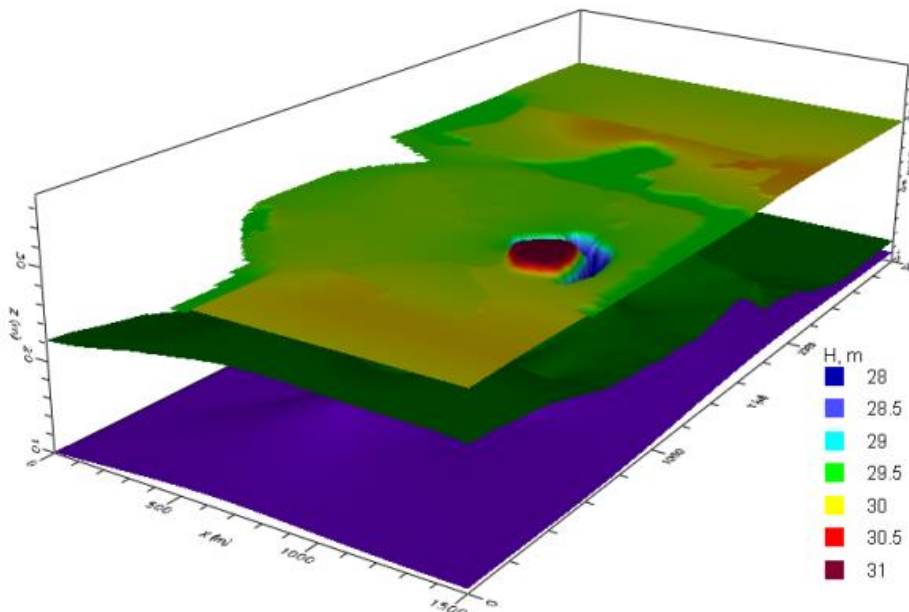


Рисунок 4.9 – Эпигнозная схема распределения уровней подземных вод (цветовая шкала соответствует уровням подземных вод) [127]

На схемах видно, что положение уровней подземных вод на территории бывшего ОАО «СВЗХ» изменится несущественно после устройства противофильтрационных завес вокруг накопителей отходов химпроизводства [127]. Локальное снижение уровней отмечается только на участках, ограниченных ПФЗ, за счет уменьшения инфильтрационного питания.

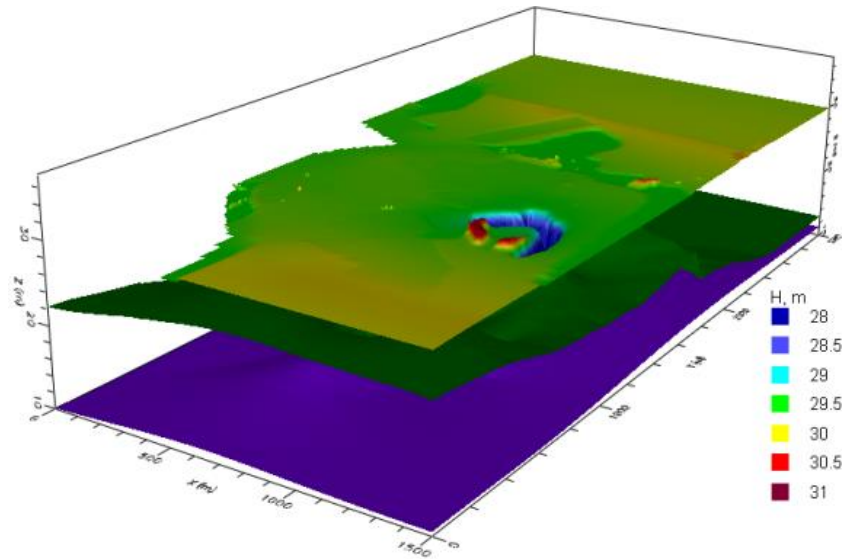


Рисунок 4.10 – Прогнозная схема распределения уровней подземных вод  
(цветовая шкала соответствует уровням подземных вод) [127]

Для оценки эффективности инженерной защиты окружающей среды после устройства ПФЗ на численной модели по их контуру были заданы маркеры отслеживания траектории движения воды (линии тока) [127]. На рисунке 4.11 видно, что 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 [127]. 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 [127].

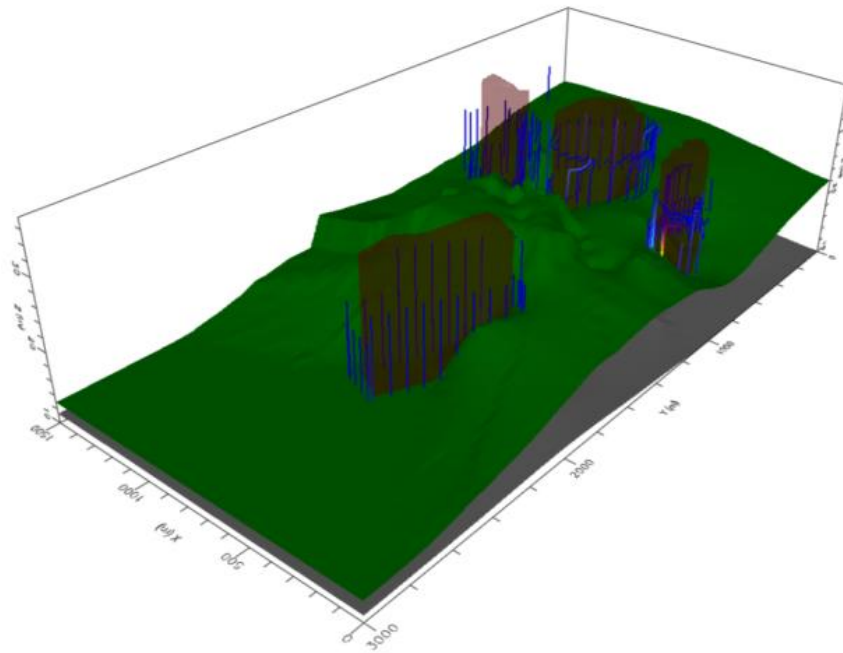


Рисунок 4.11 – Линии тока вблизи противофильтрационных сооружений на численной модели  
(линии тока показаны синим) [127]

В таблице 4.6 приведены величины водопритоков в строительные котлованы без ПФЗ и после создания ПФЗ по периметру каждого из четырех накопителей токсичных отходов СВЗХ [118]. Из таблицы видно, что результатом возведения ПФЗ является снижение водопритока в ложа накопителей в 3-17 раз, что подтверждает эффективность устройства ПФЗ в результате внедрения методики комплексного использования МПГ в строительстве способом «стена в грунте» [118].

Таблица 4.6 – Водопритоки в котлованы до и после сооружения ПФЗ [121, 127]

	Водоприток без ПФЗ		Водоприток с ПФЗ	
	м <sup>3</sup> /сут	л/сек	м <sup>3</sup> /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

#### 4.4.5. Оценка экономической эффективности технических решений

Одной из основных целей внедрения методики комплексного использования МПГ в строительную практику является сокращение стоимости создания протяженных ПФЗ способом «стена в грунте» за счет замены дорогостоящих бентонитовых глин, практически безальтернативно применяемых сегодня в строительной практике для приготовления тиксотропных растворов [116, 121].

Разработанная автором работы и внедренная в рамках проекта рекультивации территории СВЗХ методика комплексного использования местных полиминеральных глин позволила снизить стоимость тиксотропных растворов с 0,70 млрд.руб. до 0,45 млрд.руб., то есть в 1,5 раза [127]. Кроме того, благодаря разработанной методике в рассматриваемом проекте обоснована и реализована возможность использования в качестве естественного водоупорного основания сооружаемых ПФЗ водоупорных верхнечетвертичных глин (вместо регионального водоупора - глин верхнего неогена). Данное решение позволило уменьшить глубину ПФЗ с 30 м до 9,6 – 16,4 м [127]. Внедрение методики комплексного использования МПГ и инновационных конструктивных и технологических решений позволило сократить совокупные затраты на создание ПФЗ способом «стена в грунте» на объекте - с 2,03 млрд руб. до 1,05 млрд руб., то есть почти в 2 раза (Справка о внедрении результатов диссертационной работы представлена в Приложении 6) [121, 127].

#### **Выводы по главе 4:**

1. Разработан каскадный способ создания противofильтрационной завесы, который позволяет обеспечить устойчивость стенок выработки при проходке траншей большой протяженности на площадках с уклоном более 3° и при высоком уровне подземных вод [117, 120, 121, 129]. Каскадный способ возведения ПФЗ исключает необходимость проведения вертикальной планировки всей трассы завесы, что позволяет резко снизить объемы земляных работ и потребность в использовании тяжелых землеройных механизмов на участке работ.

2. Разработан способ создания водонепроницаемого сопряжения противofильтрационных завес, выполненных способом «стена в грунте» на площадке с большим перепадом высот [120, 122, 127]. Данный способ наиболее эффективен при создании завес большой протяженности способом «стена в грунте» на пересеченной местности, а также для создания единой противofильтрационной защиты золотвала, например, при сопряжении существующей дамбы обвалования с новой картой намыва.

3. В рамках проекта рекультивации накопителей высокотоксичных отходов СВЗХ на стадии проекта внедрена разработанная автором диссертационной работы методика комплексного использования местных полиминеральных глин для создания противofильтрационных завес большой протяженности способом «стена в грунте» [127]. В рамках внедрения методики на объекте в Чапаевске отработаны следующие ее элементы:

- проведен анализ исходных данных для обоснования применения методики, в том числе создана геofильтрационная модель участка работы, на которой воспроизведены геологические и гидрогеологические условия, с целью обоснования выбора оптимального водоупорного основания ПФЗ;

- отработана методика предварительной оценки качества МПГ Преображенского месторождения, расположенного в 40 км от стройплощадки;

- разработаны рецептуры глинистых растворов, приготовленных на основе глин Преображенского месторождения, и проведены лабораторные исследования ТР [121];

- отработана схема выбора способов обработки глинистого сырья с целью получения тиксотропного раствора на основе МПГ, отвечающего действующим нормативным требованиям;

- разработаны рецептуры ПФМ и проведены лабораторные исследования, подтвердившие их пригодность для заполнения ПФЗ;

- на геofильтрационной модели участка работ доказана эффективность ПФЗ, которые выполнены способом «стена в грунте» по технологии, основанной на методике комплексного использования МПГ;

- произведена оценка технико-экономической эффективности замены дорогостоящих бентонитовых глин местными глинами для приготовления ТР за счет внедрения методики [127].

## 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 противofильтрационных 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 противofильтрационных 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» [116]. 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 противofильтрационных завес большой протяженности, создаваемых с целью защиты окружающей среды от загрязнения отходами производств, содержащихся в отвалах и накопителях.

7. Разработана технология строительства противofильтрационных 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 противofильтрационных завес, который позволяет обеспечить устойчивость стенок траншей большой протяженности на площадках с уклоном более 3° и при высоком уровне подземных вод [117, 120, 129]. 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 противofильтрационных завес, выполненных способом «стена в грунте» на площадке с большим перепадом высот [120, 122]. Данный способ наиболее эффективен при создании завес большой протяженности способом «стена в грунте» на пересеченной местности, а также при создании единой противofильтрационной 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 противofильтрационных 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 геofильтрационной модели рекультивируемой территории доказана эффективность противofильтрационных 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 бенитонитовых глин) [127]. 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 [127].

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 ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адамович, А.Н. Закрепление грунтов и противofильтрационные завесы / А.Н. Адамович. - М. Энергия, 1980. - 319 с.
2. Аллас, Э.Э. Совершенствование техники специальных гидротехнических работ в энергетическом строительстве / Э.Э. Аллас, А.Н. Мещеряков // Гидротехническое строительство. - 1967. - №11. - С. 38-45.
3. Андреев, В.М. Совершенствование технологии устройства тонких противofильтрационных завес: дис. ... к-та техн. наук. Москва - 1984. - 172 с.
4. Беллендир, Е.Н. О классификации глинистых грунтов в российских и зарубежных стандартах / Е.Н. Беллендир, А.А. Каган, Т.Ю. Векшина // Основания, фундаменты и механика грунтов. - 2005. - №1. - С. 17-21.
5. Бестужева, А.С. Гидроэкология : курс лекций : в 2 частях : Ч. 1: Общая гидроэкология / А. С. Бестужева. - Москва : НИУ МГСУ, 2015. - 86 с.
6. Борзунов, В. В. Оптимизация проектных решений и усовершенствования конструкций основных сооружений Нижне-Бурейской ГЭС / В. В. Борзунов, А. Ш. Мусаев, Е. А. Кадушкина // Гидротехническое строительство. – 2017. – № 4. – С. 2-15.
7. Борзунов, В.В. Опыт проектирования и строительства грунтовой плотины Нижне-Бурейской ГЭС с применением в качестве противofильтрационного устройства диафрагмы из буросекущихся свай / В. В. Борзунов, Г. В. Денисов, Е. А. Кадушкина [и др.] // Гидротехническое строительство. – 2019. – № 6. – С. 2-11.
8. Бройд, И.И. Струйная геотехнология / И.И. Бройд. - М.: Из-во Ассоциация строительных вузов; 2004 - 440 с.
9. Бунтман, А.Д. Об использовании противofильтрационных завес для защиты котлованов от притока грунтовых вод / А.Д. Бунтман // Энергетическое строительство. - 1978. - №2. - С. 86-87.
10. Бунтман, А.Д. Противofильтрационные завесы, сооружаемые способом «стена в грунте» / А.Д. Бунтман // Энергетическое строительство. - 1981. - №4. - С. 42-46.
11. Бунтман, А.Д. Противofильтрационная стенка в котловане Нижнекамской ГЭС / А.Д. Бунтман, В.Б. Хейфец, Д.Г. Шнейдер, М.Ф. Хасин // Гидротехническое строительство. - 1973. - №7 - С. 12-15.
12. Бунтман, А.Д. Сооружение шахты лучевого водозабора способом буробетонных траншейных стенок / А.Д. Бунтман, В.Б. Хейфец // Гидротехническое строительство. - 1965. - №7. - С. 9-12.
13. Бухарцев, В.Н. Устройство котлованов в условиях плотной застройки / В.М. Бухарцев, Т.Т. Данг // Гидротехническое строительство. - 2019. - №6. - С. 26-28.

14. Виноградов, А.Ю. Гидрология: соотношение теоретической и прикладной гидрологии / Т.А. Виноградова, А.Ю. Виноградов // Четвертые Виноградовские чтения. Гидрология от познания к мировоззрению : сборник докладов международной научной конференции памяти выдающегося русского ученого Юрия Борисовича Виноградова, Санкт-Петербург, 23–31 октября 2020 года / Санкт-Петербургский государственный университет. – Санкт-Петербург: ООО «Издательство ВВМ», 2020. – С. 2-11.
15. Волкова, Ю.В. Комплексный подход к планированию рекультивации земель при хозяйственном освоении территории / Н.В. Арефьев, Ю.В. Волкова // Научно-технические ведомости. - 2007. - №1 (49). - С. 138-141.
16. Воскресенский, С.М. Специальные работы в гидротехническом строительстве на современном этапе / С.М. Воскресенский, Л.И. Малышев // Гидротехническое строительство. - 2000. - №10. - С. 64-66.
17. Гальперин, И.Г. Устройство противofiltrационного зуба для наращивания ядра земляной плотины Павловской ГЭС / И.Г. Гальперин, Б.М. Зархин // Гидротехническое строительство. - 1967. - №12. - С. 14-15.
18. Ганичев, И.А. Новые способы устройства противofiltrационных завес / И.А. Ганичев, А.Н. Мещеряков, В.Б. Хейфец // Гидротехническое строительство. - 1961.- №2. - С. 14-18.
19. Ганичев, И.А. Производство буровых работ в строительстве / И. А. Ганичев, П. А. Анатольевский, О. М. Шнееров. - М.: Стройиздат, 1966. - 331 с.
20. Горбачевский, В.П. Отдельные аспекты проектирования «стены в грунте» / В.П. Горбачевский, А.Р. Инсафутдинов, А.О. Крюкова, В.В. Капканова, А.Н. Топилин // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. - 2019. - Т. 9. - № 2. - С. 304–311.
21. Горелов, Л.Н. Резервы способа «стена в грунте» в повышении эффективности энергетического строительства / Л.Н. Горелов, В.Е. Черников // Энергетическое строительство. - 1981. - №4. - С. 36-39.
22. ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация: межгосударственный стандарт. – М.: Стандартиформ, 2020. – 42 с.
23. ГОСТ 30416-2020. Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения. – М.: ФГБУ «РСТ», 2021. – 15 с.
24. ГОСТ 12536-2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава: межгосударственный стандарт. – М.: Стандартиформ, 2019. – 24 с.
25. ГОСТ 25584-2016 Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации: межгосударственный стандарт. – М. : Стандартиформ, 2016. – 18 с.

26. ГОСТ 5180-2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик: межгосударственный стандарт. – М.: Стандартиформ, 2019. – 24 с.
27. ГОСТ 23278-2014. Грунты. Методы полевых испытаний проницаемости. – М.: Стандартиформ, 2015. - 31 с.
28. ГОСТ 12071-2014. Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов: межгосударственный стандарт. – М.: Стандартиформ, 2015. – 9 с.
29. ГОСТ 33213-2014 (ISO 10414-1:2008). Контроль параметров буровых растворов в промысловых условиях. Растворы на водной основе. – М.: Стандартиформ, 2016. – 75 с.
30. ГОСТ 25796.2-83. Сырье глинистое в производстве глинопорошков для буровых растворов. Методы определения свойств суспензии. – М.: Издательство стандартов, 1983. – 5 с.
31. ГОСТ 25796.0-83. Сырье глинистое в производстве глинопорошков для буровых растворов. Общие требования к методам испытаний. – М.: Издательство стандартов, 1983. – 4 с.
32. Дмитриев, Н.В. Противофильтрационные завесы и несущие конструкции, сооружаемые способом «стена в грунте» / Н.В. Дмитриев, В.Б. Хейфец // Энергетическое строительство. - 1981. - №4. - С. 40-42.
33. Дмитриев, Н.В. Устройство противофильтрационной «стены в грунте» при ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС / Н.В. Дмитриев, Б.М. Зархин, А.И. Малышев, К.А. Логинов, Н.Г. Селиванов // Энергетическое строительство. - 1991. - №12. - С. 21-24.
34. Драгунов, Е.Я. О строительстве подземных сооружений способом «стена в грунте» / Е.Я. Драгунов, В.Е. Черников // Энергетическое строительство. - 1977. - №12. - С.
35. Дьякова, К.В. Обоснование схемы размещения скважин пьезометрической сети (КИА) / О. Н. Котлов, М. Ю. Васильев, К. В. Дьякова, А.С. Сольский, А.Н. Гладков // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. – 2022. – Т. 305. – С. 84-96.
36. Егоров, Г.Д. Смещения «стены в грунте» при строительстве станции мелкого заложения в Санкт-Петербурге / Г.Д. Егоров, А.В. Попович // Труды VI Международной конференции. - Екатеринбург. - 2019. - С. 17-24.
37. Ермолаева, Л.В. Бурение нефтяных и газовых скважин : учеб. пособие / Л. В. Ермолаева, В. В. Живаева, С. С. Калиновский; Самар. гос. техн. ун-т. - Самара : Самар. гос. техн. ун-т, 2008 (Самара : Тип. Самар. гос. техн. ун-та). - 80 с.
38. Живодеров, В.Н. Гидротехнические работы, выполняемые Союзгидроспецстроем. Противофильтрационные мероприятия и усиление слабых оснований. Свайные работы / В.Н. Живодеров // Энергетическое строительство. - 1991. - №12. - С. 10-15.
39. Зарипов С.З. Лабораторный контроль при бурении нефтяных и газовых скважин. - М., «Недра», 1977. - 192 с.

40. Зархин, Б.М. Устройство противofильтрационной стенки способом экскаваторного черпания под глинистым раствором / Б.М. Зархин, В.В. Разумный // Оргэнергострой. - 1965. - вып. 195. - 27 с.
41. Зубков В.М. Подземные сооружения, возводимые способом «стена в грунте» / В.М. Зубков, Е.М. Перлей, В.Ф. Раюк. - Л.: Стройиздат, 1977. - 200 с.
42. Иванов, В. М. Современные решения экологических вопросов в АО «Ленгидропроект» при проектировании объектов энергетики / В. М. Иванов // Гидротехническое строительство. – 2019. – № 12. – С. 28-31.
43. Инструкция по технологии и механизации строительства противofильтрационных диафрагм и монолитных несущих стен методом «стена в грунте». РСН 316-79/ Госстрой УССР. - Киев. - 1980. -101 с.
44. Исиченко, Б. Н. Нижне-Бурейская ГЭС / Б. Н. Исиченко // Гидротехническое строительство. – 2012. – № 8. – С. 26-27.
45. Истомин, В.И. Как улучшить проектное дело в России / В.И. Истомин // Гидротехника. - 2017. - №3. - С. 87-89.
46. Казеннов, В.М. Противofильтрационная завеса-стенка верхового водоема Киевской ГАЭС / В.М. Казеннов, В.П. Саюк, В.Б. Хейфец // Гидротехническое строительство. - 1977.- №1. - С. 26-29.
47. Кашарин, Д.В. Конструкция гидротехнических сооружений для улучшения экологической обстановки водного бассейна / Т. П. Кашарина, Д. В. Кашарин // Экологические аспекты эксплуатации гидромелиоративных систем и использования орошаемых земель : Всероссийская научно-практическая конференция, Новочеркасск, 25–26 сентября 1996 года. – Новочеркасск: Новочеркасская государственная мелиоративная академия, 1996. – С. 39-40.
48. Ковригин, А.А. Модель изменения гидротехнических характеристик территории полигона твердых промышленных и бытовых отходов / А.А. Ковригин, М.Ю. Слесарев // Вестник МГСУ. - 2021. - Т. 16. - № 6. - С. 770–780.
49. Козлов, Д.В. Водохозяйственная радиология : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов «Водные ресурсы и водопользование» / В. Ф. Василенков, С. В. Василенков, Д. В. Козлов. - Москва : МГУП, 2009. - 413 с.
50. Комаров, Ю. С. Об инженерных изысканиях в современных условиях / Ю. С. Комаров // Гидротехническое строительство. – 2012. – № 8. – С. 62-63.
51. Королев, В.М. Новое в создании противofильтрационного элемента в теле грунтовой плотины / В.М. Королев, О.Е. Смирнов, Э.С. Аргал, А.В. Радзинский // Гидротехническое строительство. - 2013. - №8. - С. 2-9.

52. Королев, К.В. Расчет несущей способности гладкой стены в грунте на поперечные нагрузки / А.М. Караулов, К.В. Королев, А.С. Акилина // Известия высших учебных заведений. Строительство. - 2020. - №12. - С. 5-13.
53. Котлов, О.Н. Опытнo-фильтрaционные и миграционные работы для обоснования технических решений проекта реконструкции хвостохранилища Куранахской золотоизвлекательной фабрики / Ю.Г. Козуб, О.Н. Котлов // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации : мат. докл. Четырнадцатой Общерос. науч.-практ. конф. и выставки изыскательских организаций. 2018. - С. 434.
54. Котлов, О.Н. Способ локализации очага загрязнения подземных вод / Ю.Г. Козуб, О.Н. Котлов // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. - 2019. - Т. 294. - С. 31–43.
55. Котульский, В.В. Инъекционная завеса плотины Орто-Токойского водохранилища / В.В. Котульский // Гидротехническое строительство. - 1964. - №9. - С. 28-31.
56. Круглицкий, Н.Н. Траншейные стенки в грунтах / Н. Н. Круглицкий, С. И. Мильковицкий, В. Ф. Скворцов, В. М. Шейнблум. – Киев: Наукова Думка, 1973. - 304 с.
57. Кудрин, К.П. Использование инновационных решений при создании противofильтрационной диафрагмы в перемычке Нижне-Бурейской ГЭС / Кудрин К.П., Королев В.М., Аргал Э.С., Соловьева Е.В., Смирнов О.Е., Радзинский А.В. // Гидротехническое строительство. – 2014. - № 7.- с. 22-28.
58. Логинов, К.А. Исследование процессов формирования тела глиняной противofильтрационной стенки / К.А. Логинов // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. - 1975. - Т. 107. - С. 320-329.
59. Логинов, К.А. Формирование физико-механических и фильтрационных свойств противofильтрационных стенок из комовой глины: дис. канд. тех. наук.: 05.23.07. - Л., 1975. - 151 с.
60. Лысенко, М.П. Состав и физико-механические свойства грунтов / М.П. Лысенко. - М.: Недра, 1980. - 272 с.
61. Макаров, Л.В. Промывочные жидкости в колонковом бурении / Л.В. Макаров. - М.: Недра, 1965. - 66 с.
62. Максимов, А.П. Тампонаж горных пород / А.П. Максимов, В.В. Евтушенко. - М.: Недра, 1978. - 180 с.
63. Малышев, Л.И. Лабораторные исследования структурoобразования и фильтрационных свойств тела противofильтрационной стенки из комовой глины / Л.И. Малышев, М.Ф. Хасин, К.А. Логинов // Труды Гидропроекта. Специальные гидротехнические работы. - 1976. - Вып. 49. - С. 17-34.

64. Малышев, Л.И. Технические решения и результаты первоочередных работ по сооружению противофильтрационной стенки в грунте в ядре и основании плотины Курейской ГЭС / Малышев Л.И., Шишов И.Н., Кудрин К.П., Бардюков В.Г. // Гидротехническое строительство. - 2001. - №3. - С. 31-36.
65. Марголин, В.М. Расчет устойчивости стенок траншей, возводимых методом «стена в грунте» в неоднородных пластах / В.М. Марголин // Промышленное и гражданское строительство. - 2017. - №4. - С. 25-29.
66. Маций, С.И. Актуальные проблемы совершенствования нормативной базы в области инженерной защиты / С.И. Маций, В.Г. Федоровский, А.К. Рябухин // Основания, фундаменты и механика грунтов. - 2019. - № 4. - С. 25-29.
67. Методические рекомендации по организации возведения траншейных стен и противофильтрационных завес / НИИ орг. и управления в стр-ве при МИСИ им. В. В. Куйбышева; - М. : НИИОУС, 1983. - 96 с.
68. Мещеряков, А.Н. Сооружение противофильтрационных завес и несущих конструкций с использованием суспензий бентонита / А.Н. Мещеряков, В.Б. Хейфец // Гидротехническое строительство. - 1965. - №6. - С. 18-22.
69. Мирзаджанзаде, А.Х. Гидравлика глинистых и цементных растворов / А. Х. Мирзаджанзаде, А. А. Мирзоян, Г. М. Гевинян, М. К. Сеид-рза. - М.: Недра, 1966. - 298 с.
70. Моргунов, К.П. Особенности поведения грунтов в основании гидротехнических сооружений / К.П. Моргунов, М.А. Колосов // Водные пути и русловые процессы. гидротехнические сооружения водных путей. Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. - 2021. - Выпуск 5. Часть 2. - С. 66-81.
71. Наумов, С.В. Совершенствование методик оценки физико-механических и технологических свойств строительных глин: дис. ... к-та техн. наук. Санкт-Петербург - 2001. - 145 с.
72. Норватов, Ю.А. Повышение информативности опытных откачек, проводимых при инженерных изысканиях, при помощи численного геофильтрационного моделирования / Ю.А. Норватов, И.Б. Петрова, М.В. Сергутин, А.А. Шамшаев // Инженерные изыскания. - 2015. - № 5–6. - С. 24–29.
73. Овчаренко, Ф.Д. Исследования в области физико-химической механики дисперсии глинистых материалов / Ф. Д. Овчаренко, С. П. Ничипоренко, Н. Н. Круглицкий, В. Ю. Третинник. - Киев: Наукова думка, 1965. - 178 с.
74. Орищук, Р.Н. Выбор типа противофильтрационных устройств в вариантах плотин из местных материалов Канкунского гидроузла / В. А. Заирова, Е. А. Филиппова, Р. Н. Орищук, А. Д. Созинов // Гидротехническое строительство. - 2010. - № 2. - С. 8-13.

75. Осадчук, В.А. Опыт устройства противofильтрационных траншейных завес из различных материалов / В.А. Осадчук // Гидротехническое строительство. - 2004. - №1. - С. 30-34.
76. Осокин, А. И. Опыт сохранения соседних зданий при устройстве котлованов больших объемов в условиях плотной застройки / Р. А. Мангушев, А. И. Осокин, Л. В. Гарнык // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2016. – № 5. – С. 2-7.
77. Осокин, А.И. Перспективы устройства подземных паркингов в условиях стесненной застройки исторического центра Санкт-Петербурга / Р.А. Мангушев, А.И. Осокин, П.Г. Левинская // Жилищное строительство. - 2019. - №4. - С. 3-18.
78. Осокин, А. И. Технологическое обеспечение подземного строительства в условиях городской застройки / А. И. Осокин, О. О. Денисова, Т. Н. Шахтарина // Жилищное строительство. – 2014. – № 3. – С. 16-24.
79. Пермяков, М.Б. Технология устройства противofильтрационных завес методом «стена в грунте» / М.Б. Пермяков, С.В. Тимофеев // Наука и безопасность. - 2013. - №2 (7). - С. 33-37.
80. Першин, Г.В. Местные глины для строительства способом «стена в грунте» / Г.В. Першин, А.С. Кадыров, Ж. Ж. Жунусбекова // Новости науки Казахстана. - 2015. - №3 (125). - С. 193-203.
81. Пониматкин, П.У. Сооружение противofильтрационной завесы траншейным способом / П.У. Пониматкин, В.Б. Хейфец // Гидротехническое строительство. - 1963. - №6. - С. 10-13.
82. Пономаренко, Ю.В. Проблемы сооружения противofильтрационных завес и «стен в грунте» при освоении подземного пространства на городских подтопленных территориях / Ю.В. Пономаренко, А.А. Изотов // Промышленное и гражданское строительство. - 2014. - №1. - С. 43-45.
83. Пособие по производству работ при устройстве оснований и фундаментов (к СНиП 3.02.01-83) / НИИОСП им. Н.М.Герсеванова Госстроя СССР. - М.: Стройиздат, 1986. - 569 с.
84. Пособие по технологии возведения плотин из грунтовых материалов к СНиП 2.06.05-84 и СНиП 3.07.01-85: П-885-91 / Гидропроект им. С. Я. Жука. – М., 1991. 161 с.
85. Праведный, Г.Х. Метод оценки фильтрационной прочности грунтовых ядер и экранов земляных и каменно-земляных плотин / Г.Х. Праведный // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. - 1981. - Т. 149. – С. 35-43.
86. Пясковский, А. Примеры сооружений в ПНР противofильтрационных завес с применением тиксотропных растворов / А. Пясковский, З. Ковалевский // Гидротехническое строительство. - 1969. - № 7. - С. 43.
87. Радзинский, А.В. Надежность грунтовых плотин с противofильтрационным элементом в виде «стены в грунте»: дис. канд. тех. наук.: 05.23.07. - М., 2014. - 199 с.

88. Радзинский, А.В. Плотина стометровой высоты с глиноцементобетонной диафрагмой по типу «стена в грунте» / А.В. Радзинский, Л.Н. Рассказов, М.П. Саинов // Вестник МГСУ. - 2014. - №9. - С. 106-115.
89. Рассказов, Л.Н. Бетонная диафрагма как элемент реконструкции грунтовой плотины / Л.Н. Рассказов, А.С. Бестужева, М.П. Саинов // Гидротехническое строительство. - 1999. - № 4. - С. 10-16.
90. Рассказов, Л.Н. Плотины с глиноцементной диафрагмой. Напряженно-деформированное состояние и прочность / Л.Н. Рассказов, А.В. Радзинский, М.П. Саинов // Гидротехническое строительство. - 2014. - № 9. - С. 37-44.
91. Расторгуев, И.А. Использование программных комплексов DHI Feflow и Processing Modflow при решении задач геофильтрации на территории строящихся гидротехнических сооружений и их реконструкции в сложных геологических и гидрогеологических условиях / И.А. Расторгуев, Л.Н. Мухина, Д.А. Ермакова // Гидротехническое строительство. - 2021. - № 1. - С. 47–54.
92. Ребиндер, П.А. Структурно-механические свойства глинистых пород и современные представления о физико-химии коллоидов / П.А. Ребиндер // Труды Совещания по инженерно-геологическим свойствам горных пород и методам их изучения. М.: Изд-во АН СССР. - 1956. - Т. 1. - С. 31-44.
93. Рекомендации по возведению заглубленных сооружений и конструкций методом «стена в грунте». - НИИСК Госстроя СССР, НИИСП Госстроя УССР. - Киев, 1973. - 155 с.
94. Рекомендации по проектированию плотин из грунтовых материалов. Раздел: «Проектирование противофильтрационных и дренажных устройств»: П 783-85 / Гидропроект. - М., 1985.
95. Рекомендации по регулированию параметров глинистой корки при строительстве противофильтрационных завес способом «стена в грунте». - НИИ оснований и подземных сооружений им. Н.М. Герсеванова Госстроя СССР. - М., 1984. - 18 с.
96. Рекомендации по технологии устройства подземных сооружений методом «стена в грунте». - НИИОСП имени Н. М. Герсеванова, ВНИИГС. - М., 1979. - 129 с.
97. Рекомендации по устройству подземных конструкций и противофильтрационных завес способом «стена в грунте». - НИИОСП им. Н.М.Герсеванова Госстроя СССР. - М., 1983.
98. Рекомендации по устройству подземных сооружений способом «стена в грунте». - НИИОСП им. Н.М. Герсеванова Госстроя СССР. - М., 1982.
99. Рельтов, Б.Ф. Усадочные явления в сваях в водонасыщенных грунтах / Б.Ф. Рельтов // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. - 1947. - Т. 33.



- 100.Руководство по возведению заглубленных сооружений и конструкций методом «стена в грунте». - ВНИИГС Госстроя УССР - Киев: 1973.
- 101.Руководство по применению глинистых и тампонажных растворов при строительстве способом «стена в грунте». - ВНИИГС - М.: ЦБНТИ Минмонтажспецстроя СССР, 1977. - 36 с.
- 102.Руководство по проектированию стен сооружений и противофильтрационных завес, устраиваемых способом «стена в грунте». - НИИОСП им. Н.М.Герсеванова. - М., Стройиздат. - 1977. - 129 с.
- 103.Руководство по расчетам фильтрационной прочности напорных грунтовых сооружений ГАЭС. ВНИИГ П93-81. - Ленинград. - 1981.
- 104.Саинов, М.П. Влияние деформируемости материала противофильтрационной диафрагмы, выполненной в грунтовой плотине методом «стена в грунте», на его прочность / М.П. Саинов, Г.М. Кудрявцев // Вестник МГСУ. - 2014. - №2(101). - С. 214-221.
- 105.Саинов, М.П. Напряжённо-деформированное состояние грунтовых плотин с противофильтрационными устройствами из материалов на основе цемента: автореф. дис. докт. техн. наук.: 05.23.07. - М., 2020. - 39 с.
- 106.Саинов, М.П. Напряженно-деформированное состояние противофильтрационных «стен в грунте» грунтовых плотин: автореф. дис. канд. тех. наук.: 05.23.07. - М., 2001. - 255 с.
- 107.Саинов, М.П. Пространственная работа противофильтрационной стены / М.П. Саинов // Инженерно-строительный журнал. - 2015. - №5 (57). - С. 20–33.
- 108.Саинов, М.П. Совершенствование противофильтрационного устройства грунтовой плотины в составе бетонного экрана и «стены в грунте» / М.П. Саинов, В.Б. Сорока // Строительство: наука и образование. - 2022. - Т. 12. - С. 17-37.
- 109.Свердлов, П.М. О целесообразности использования в энергостроительстве способа «стена в грунте» / П.М. Свердлов // Энергетическое строительство. - 1981. - №4. - С. 46-47.
- 110.Синдаловский, Л.Н. ANSDIMAT программный комплекс для определения параметров водоносных пластов / Л.Н. Синдаловский. - СПб.: Наука, 2011.
- 111.Смородинов, М.И. Устройство сооружений и фундаментов способом «стена в грунте» / М.И. Смородинов, Б.С. Федоров. - М.: Стройиздат, 1986. - 216 с.
- 112.СН 477-75. Временная инструкция по проектированию стен сооружений и противофильтрационных завес, устраиваемых способом «стена в грунте» / Гос. ком. Совета Министров СССР по делам стр.-ва. (Госстрой СССР). - Изд. офиц. - Москва : Стройиздат, 1976. - 33 с.
- 113.СО 34.21.308-2005. Гидротехника. Основные понятия. Термины и определения/ РАО «ЕЭС России». - СПб.: Изд-во ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 2005.-52 с.

- 114.Собкалов, П.Ф. Траншейные стенки в гидротехническом строительстве / П.Ф. Собкалов. – М, 1981. - 51 с.
- 115.Собкалов, Ф.П. Влияние глинистых тиксотропных растворов на качественные характеристики противofильтрационных 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.
- 116.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.
- 117.Собкалов, Ф.П. Каскадный способ создания противofильтрационной завесы (ПФЗ), сооружаемой способом «стена в грунте» на откосе с уклоном более 3°: Патент на изобретение № 2579780 от 10.04.2016 г. / Собкалов Ф.П., Собкалов П.Ф., Сольский С.В.
- 118.Собкалов, Ф.П. Обоснование выбора оптимального основания противofильтрационного контура при рекультивации накопителей токсичных отходов / С.В. Сольский, О.Н. Котлов, Ф.П. Собкалов // Вестник МГСУ. - 2022. - Т. 17. - С. 93-105.
- 119.Собкалов, Ф.П. Противofильтрационные элементы из пластичных и твердеющих материалов, созданных на основе местных низкосортных глин / Ф.П. Собкалов // Известия ВНИИГ. – 2013. – Т. 270. – С. 67–76.
- 120.Собкалов, Ф.П. Совершенствование технологии производства работ при строительстве противofильтрационных устройств способом «стена в грунте» / С.В. Сольский, Ф.П. Собкалов // Гидротехническое строительство. - 2022. - № 4. - С. 2-7.
- 121.Собкалов, Ф.П. Создание противofильтрационной завесы из местных глин для рекультивации накопителей токсичных отходов / Ф.П. Собкалов // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. - 2014. - Т. 274. – С. 74-84.
- 122.Собкалов, Ф.П. Способ создания водонепроницаемого сопряжения противofильтрационной завесы, сооружаемой на площадке с разновысокими отметками методом «стена в грунте»: Патент на изобретение №2568757 от 12.08.2014 г. / Собкалов Ф.П., Собкалов П.Ф., Сольский С.В.
- 123.Сольский, С.В. Анализ влияния компонентов ГЦБ на его характеристики / С.В. Сольский, Е.Е. Легина, Р.Н. Орищук, З.Г. Васильева, А.С. Величко // Вестник МГСУ. - 2016. - № 10. - С.83-90.
- 124.Сольский, С.В. Вторичное освоение техногенно-нагруженных территорий. Проблемы и решения. СПб.: ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 2011. - 324 с.
- 125.Сольский, С.В. Инженерная защита вод в природно-технических системах на техногенно-нагруженных территориях : дис. ... д-ра техн. наук. СПб - 2007. - 313 с.

126. Сольский, С.В. Лаборатория фильтрационных исследований им. Н. Н. Павловского ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева / С.В. Сольский, М.Г. Лопатина // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. - 2011. - Т. 263. - С. 7-18.
127. Сольский, С.В. Обоснование проектных решений по рекультивации накопителей токсичных отходов на территории бывшего завода химикатов в г. Чапаевск / Сольский С.В., Собкалов Ф.П., Котлов О.Н., Таскаева С.Х. // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. - 2020. - Т. 296. - С. 58-79.
128. СП 58.13330.2019. Гидротехнические сооружения. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 33-01-2003. - М.: Минрегион России, 2012.
129. СП 45.13330.2017. Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87: свод правил. – М.: АО «ЦИТП», 2017.-167 с.
130. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть VI. Правила производства геофизических исследований / Госстрой России. – М.: ПНИИИС, 2004.
131. СП 48.13330.2019. Организация строительства. СНиП 12-01-2004: свод правил. - М.: Минстрой России, 2019.
132. СП 127.13330.2017. Полигоны по обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных отходов. Основные положения по проектированию. СНиП 2.01.28-85: свод правил. – М.: АО «ЦНС», 2018.
133. СТО НОСТРОЙ 2.5.74-2012. Основания и фундаменты. Устройство «стены в грунте». Правила, контроль выполнения и требования к результатам работ. - ФГБОУ ВПО Московский государственный строительный университет. - М., Издательство БСТ. - 2014. - 85 с.
134. СТО 36554501-017-2009. Проектирование и устройство монолитной конструкции, возводимой способом «стена в грунте». - НИИОСП им. Н.М.Герсеванова. - М., ОАО «НИЦ «Строительство». - 2010. - 34 с.
135. Сускин, В.З. Оценка эффективности барьера «стена в грунте» при создании пунктов консервации и пунктов поверхностного захоронения РАО / В. В. Сускин, И. В. Капырин, Ф. В. Григорьев // Радиоактивные отходы. - 2021. - №1(14). - С.96-105.
136. Сухарев, Ю.И. Обоснование рекультивации хвостов металлургической промышленности / М.А. Абрамова, Ю.И. Сухарев // Материалы международной научной конференции. - 2018. - Т. 290, Часть 2. - С. 3-5.
137. Технические условия. ТУ-39-0147001-105-93. Глинопорошки для буровых растворов. Министерство нефтяной промышленности.
138. Тупицына, О.В. Освоение природно-техногенных систем градопромышленных агломераций / О.В. Тупицына, К.Л. Чертес, Д.Е. Быков : монография. Самара : ООО «Издательство Ас Гард» - 2014. - 320 с.

139. Тупицына, О.В. Реабилитация территорий, деградированных в результате деятельности опасных производств / О.В. Тупицына, Н.Г. Гладышев, М.С. Кузнецова, Д.А. Пирожков, Л.К. Чертес, И.В. Тарасова и др. // *Экология и промышленность России*. - 2011. - № 3. - С. 30–32.
140. Филахтов, А.Л. Возведение сооружений методом «стена в грунте» / А.Л. Филахтов, А.Г. Абызов, А.А. Зазулинский, Н.В. Писанко, Р.Н. Ткаченко. - Киев: Будивельник, 1976. - 204 с.
141. Филахтов, А.Л. Устройство противofильтрационных стенок в траншеях под глинистым раствором / А.Л. Филахтов, А.М. Чернухин, Б.М. Зархин. - Киев: НИИСП Госстроя УССР, 1968. - 117 с.
142. Хейфец, В.Б. Буробетонная противofильтрационная завеса Чурубай-Нуриной плотины / В.Б. Хейфец, Д.Г. Шнейдер // *Гидротехническое строительство*. - 1964. - №11. - С.15-19.
143. Чаповский, Е.Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов / Е.Г. Чаповский. - М.: Недра, 1975. - 303 с.
144. Чернухин, А.М. Материалы VII Всесоюзного совещания по закреплению и уплотнению грунтов АО «Энергия». - 1971. - С.65.
145. Чертес, К.Л. Геоинженерная защита территорий, нарушенных объектами накопленного экологического вреда / Чертес, К.Л., Тупицына О.В., Пыстин В.Н., Шишкин В.Я., Михасек А.А., Петренко Е.Н. и др. // *Экология и промышленность России*. - 2020. - Т. 24 (4). - С. 10–15.
146. Шептала, Н.Е. Руководство по физико-химическому анализу глинистых растворов, глин, утяжелителей и реагентов / Н.Е. Шептала. - М.: Недра, 1974. - 152 с.
147. Штыков, В.И. О ликвидации прудов, малых, средних водохранилищ с последующей рекультивацией ложа и береговой полосы / А. Н. Попов, В. И. Штыков : монография. - Екатеринбург : ФГУП РосНИИВХ, 2013. - 103 с.
148. Care, L. Dichtungswaende aus enier Zement-bentonit-suspension / L. Care, T.H. Strobe // *Wasserwirtschaft*. - 1976. - Bd. 66. - s. 246-252.
149. *Engineering News - Record*. - February 1960. - p. 42-44, 46.
150. Frunke, E. К вопросу об устойчивости стенок, отрытых под защитой бентонитовых растворов / E. Frunke // *Bautechnik*. - 1963. - №12.
151. Gautes, G. Correlation of Oil Well Drilling Fluids with Particle Size Distribution / G. Gautes, C. Bowil // *USBM*. - R. 13645. - 1942.
152. Giron, M. Protection des fouilles profondes des isines de Fessenheim - Vogegrund - Marcholsheim Rihnan fondees sur alluvions / L. Domenjoud, M. Giron // *Construction*. - 1962. - №7. - p. 207-217.
153. Glagovsky, V. Assessment of the mutual hydrodynamic effect of closely spaced hydroelectric complexes using numerical modeling / V. Glagovsky, O. Kotlov, Y. Kozub // *Proceedings of the Fourth International DAM WORLD Conference*. - 2020. - Vol. 1. - P. 651–663.

154. Harbaugh, A.W. MODFLOW-2005: the U.S. Geological Survey modular ground-water model — the ground-water flow process / A.W. Harbaugh // U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A16, variously p. 2005.
155. Indian Concrete Journal. - 1960. - №9. - p. 335.
156. Krupineki, H.J. Строительство метрополитена в г. Милане с применением нового метода / H.J. Krupineki // Bautechnik. - 1959. - №10.
157. Osokin, A.I. Specific features of diaphragm wall construction / D.A. Mironov, A.I. Osokin E.S. Loseva, A.I. Kuzhelev // Proceedings of the International Conference on Civil, Architectural and Environmental Sciences and Technologies (CAEST 2019). - 2019. - Vol.775. - P.1-16.
158. Osokin, A.I. The experience of the Underground Construction for the complex of Buildings on a soft soil in the Center of St. Petersburg / R.A. Mangushev, A.I. Osokin // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. - 2020. - №16(3). - P. 47-53.
159. Piaskowski, A. Die Herstellung von Wasserdichten Schlitz Neulden aus bindigen Boeden unter Verwendung thixotropen Ton Suspensionen / A. Piaskowski // Bauwesen. - 1965. - №4. - s. 215-224.
160. Piaskowski, A. Pionowe przestony wodoszczelne wykonywane z materialow gruntowych / A. Piaskowski // Gospodarka Wodna. - 1966. T. 26. - №6. - s. 215-222.
161. Reilly, T.E. Guidelines for evaluating ground-water flow models / T.E. Reilly, A.W. Harbaugh // U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2004-5038. - 2004. - 30 p.
162. Slesarev, M. Environmental graphic method for creating area of permissible impact / M. Slesarev // IOP Conference Series Materials Science and Engineering. - 2018. - Vol. 365. - Issue 2. - P. 022055.
163. Slesarev, M. Mathematical modeling of environmental loads at stages of construction object / M. Slesarev // IOP Conference Series Materials Science and Engineering. - 2018. - Vol. 365. - Issue 2. - P. 022038.
164. Slesarev, M. The computer modeling concept in the paradigm of Green Standardization of ecological construction / M. Slesarev // IOP Conference Series Materials Science and Engineering. - 2018. - Vol. 456. - Issue 1. - P. 012126.
165. Veder, Ch. Стенки из буронабивных свай, выполненных по методу «ИККОС-Федер» / Ch. Veder // Bautechnik. - 1954. - №8.
166. Veder, M. Investigation on the Electrical Phenomena at Area of between Bentonite Mud and Cohesionless Material / M. Veder // Communication V-e congress international de Mecanique des Sols et des Travaux de Fonlations. - 1961. - T. III. - p. 146-148.
167. Waldman, R. Section expérimentale du métro de Lyon. Principe et technologie des mesures / R. Waldmann, H. Gonin, P. Clément // Travaux. - January 1971. - n. 430. - p. 27.
168. Yong, R. Introduction to Soil Behavior / R. Yong, B. Warkentin // Mac Millan. - 1966.

**ПРИЛОЖЕНИЯ**

**ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ПАСПОРТНЫХ ДАННЫХ КАРЬЕРА НА ПРИМЕРЕ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ ВАГАНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЕДИНЫЙ ПО СОСТАВУ И ФОРМЕ ИЗЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ВСЕХ КАРЬЕРОВ)**

На примере одного из месторождений в сокращенном виде представлен перечень паспортных данных, который является единым для всех месторождений глинистых грунтов.

В состав паспорта №479 Вагановского карьера входят следующие данные:

- месторасположение карьера: Всеволожский район, 0,5 км на СВ от п. Ваганово и 2 км на восток от ж/д станции Ваганово, разведано в 1959-60 гг.;
- глины межледниковые, пригодные для производства керамзитового наполнителя марок «300» и «500»;
- степень промышленного освоения - резерв для нужд Западного военного округа;
- запасы глинистого сырья - 1205 тыс. м<sup>3</sup>;
- способ разработки - открытый;
- гидрогеологические условия благоприятные, так как месторождение не обводнено;
- прирост запасов глины возможен как по площади, так и за счет глубины;
- использование глин - для производства керамзитового гравия и как кирпично-черепичное сырье;
- физико-механические свойства - пластичность, влажность;
- гранулометрический состав глинистого сырья по всем выработкам и по рядовым пробам изучался двумя методами - по Рутковскому и по Сабанину-Ребиндеру;
- по классификации Охотина глина Вагановского месторождения относится к тяжелым глинам и суглинкам;
- химический состав приведен в таблице 2.1.1 Главы 2;
- петрографические показатели: светло-коричневая глина - тонкодисперсная; темно-серая и темно-коричневая глины - слоистые и представлены глинистым веществом с обломочным материалом до 20-25%;
- минералогический состав глин относится к типу гидрослюдистых глин, в качестве примесей присутствуют минералы - кварц, полевой шпат, слюда, гидрослюды.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИБОРОВ**



1. Рычажные весы для определения плотности глинистого раствора



2. Прибор VM-6 для определения водоотдачи и толщины глинистой корки



3. Воронка Марша



4. Прибор IC-2



5. Набор для определения песка в буровом растворе



6. Вискозиметр ротационный OFITE 800 для для определения статического напряжения сдвига



7. Лабораторная мешалка



8. Лабораторные весы AND SK-5001



### ПРИЛОЖЕНИЕ 3. ПРОГРАММА ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

СОГЛАСОВАНО

Генеральный директор  
АО «НИЦ «Строительство»

по договору № 135/2019 от 20 мая 2019 г.  
А.В. Кузьмин  
«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_  
М.П.



СОГЛАСОВАНО

Директор  
ФАУ «ФЦС»

А.В. Басов

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019  
г.  
М.П.  
ФЦС



#### ПРОГРАММА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

к Договору №135/2019 от 20 мая 2019 г.

на выполнение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по теме: «Определение нормируемых параметров местных полиминеральных глин для создания тиксотропных растворов в строительстве способом «стена в грунте»

**1. Объект исследований:** объектом исследований являются образцы глинистых растворов, приготовленных на основе местных полиминеральных глин из трех карьеров глинистых грунтов (выбраны по критериям качества, взятым из паспортных данных карьера, составленных по результатам изысканий Северо-Западного геологического управления), отвечающих критериям качества глинистого сырья для приготовления тиксотропных растворов в технологии строительства способом «стена в грунте». Область применения – строительство противофильтрационных завес способом «стена в грунте» в гидротехническом строительстве.

**2. Цель исследований:** получение эксплуатационных параметров глинистых тиксотропных растворов, приготовленных на основе образцов местных полиминеральных глин трех карьеров, с целью определения их пригодности для приготовления тиксотропных растворов в технологии строительства противофильтрационных завес способом «стена в грунте».

**3. Состав предъявляемой документации:** протоколы испытаний, содержащие данные по эксплуатационным параметрам тиксотропных растворов, приготовленных на основе местных полиминеральных глин.

**4. Применяемое оборудование, средства испытаний, измерений:** используемые при испытаниях инструменты и оборудование должны иметь свидетельства о поверках или калибровках. Номер свидетельства о поверке или калибровке указывается в протоколах испытаний.

Перечень основного используемого оборудования приведен в таблице 4.1.

Таблица 4.1. Перечень основного оборудования



1. Рычажные весы для определения плотности глинистого раствора



2. Прибор VM-6 для определения водоотдачи и толщины глинистой корки



3. Воронка Марша



4. Прибор ЦС-2



5. Набор для определения песка в буровом растворе



6. Вискозиметр ротационный OFITE 800 для для определения статического напряжения сдвига



7. Лабораторная мешалка



8. Лабораторные весы AND SK-5001

Приборы ЛГР-3 соответствуют РД39-00147001-773-2004 «Методика контроля буровых растворов». Сертификация приборов ЛГР-3 не предусмотрена.

## **5. Порядок проведения исследований**

5.1. Исследование качества тиксотропных глинистых растворов выполняются в следующей последовательности:

- отбор в каждом карьере проб местных полиминеральных глин для приготовления тиксотропных растворов осуществляются в соответствии с ГОСТ 25795-83 Сырье глинистое в производстве глинопорошков для буровых растворов. Технические условия;
- подготовка глинистых грунтов путем гидратации (замачивания);
- получение необходимой плотности раствора из местных полиминеральных глин –  $1,1 \div 1,3$  г/см<sup>3</sup> (согласно СП 45.13330).
- определение водоотдачи за 30 минут и толщины глинистой корки тиксотропного раствора;
- определение содержания песка в глинистом растворе;
- определение условной вязкости тиксотропного раствора;
- определение показателя стабильности глинистого раствора;
- определение прочности коагуляционной структуры глинистого раствора.

5.2. Исследование качества тиксотропных глинистых растворов, полученных на основе образцов глинистых грунтов после первичной обработки исходного глинистого сырья и после введения химдобавок, предполагают осуществлять в следующем порядке:

- 5.2.1 Выявление показателей эксплуатационных параметров исходных глинистых растворов, не соответствующих требованиям СП 45.13330, по итогам исследований.
- 5.2.2 В ходе проведения исследований местных полиминеральных глин необходимо получить тиксотропные растворы, отвечающие эксплуатационным параметрам в соответствии с СП 45.13330, приведенным в таблице 6.1 «Программы экспериментальных исследований».
- 5.2.3 Отбор и подготовка проб местных полиминеральных глин для приготовления тиксотропных растворов производится в соответствии с ГОСТ 25795-83.
- 5.2.4 Полученный тиксотропный раствор после первичной обработки исходного глинистого сырья из местных полиминеральных глин

подвергается исследованию на приборах в соответствии с ISO 10414-1, РД 39014001-773-2004, в результате которого определяются:

- плотность раствора, г/см<sup>3</sup>;
- содержание песка, %;
- условная вязкость, сек;
- стабильность, г/см<sup>3</sup>;
- водоотдача за 30 мин, см<sup>3</sup>;
- толщина глинистой корки, мм;
- статическое напряжение сдвига через 10 мин, мгс/см<sup>2</sup>.

- 5.2.1 Производится сравнительный анализ параметров глинистого раствора, полученных после обработки исходного глинистого сырья, с нормативными показателями параметров в соответствии с СП 45.13330, приведенными в таблице 14.3.
- 5.2.2 В результате сравнительного анализа, выявляются показатели параметров, не соответствующие требованиям СП 45.13330.
- 5.2.3 Для показателей параметров, не соответствующих нормативным параметрам, подбираются химические добавки, которые вводятся в раствор (СП 45.13330 табл.14.3).
- 5.2.4 После обработки раствора химическими добавками, по полученным показателям параметров (путем сравнительного анализа с нормативными показателями СП 45.13330) принимается решение о пригодности местной полиминеральной глины для приготовления глинистых тиксотропных растворов.

## **6. Методы испытаний**

6.1. Отбор проб местных полиминеральных глин выполняется в соответствии с ГОСТ 25795-83 Сырье глинистое в производстве глинопорошков для буровых растворов. Технические условия. Отбирается не менее 3-х проб с помощью лабораторных весов (фото 8). Вес каждой пробы – не менее 3 кг.

6.2. Подготовка глинистых грунтов путем гидратации (замачивания). Емкости для предварительного замачивания глин (100 вес. ед. глины на 50 ед. воды). В результате замачивания образцы комовой глины доводятся до состояния густого однородного теста плотностью  $1,4 \div 1,5$  г/см<sup>3</sup> (маточный раствор).

Вода для приготовления глинистого раствора должна быть пресной, иметь жесткость не более 12°С и соответствовать требованиям ГОСТ 23732-2011 «Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия».

6.3. Получение необходимой плотности раствора из местных полиминеральных глин.

Подготовленную глину взвешивают на лабораторных весах и заливают частью заранее определенного количества воды, доводя ее до пастообразного состояния (плотность 1,5 г/см<sup>3</sup>). После тщательного растирания этой смеси в ступке ее переносят в мешалку (фото 7), добавляют оставшуюся часть воды и перемешивают в течение 20-30 минут.

6.3.1. Плотность раствора измеряется в соответствии с ISO 10414-1. Промышленность нефтяная и газовая. Полевые испытания буровых растворов. Часть 1. Растворы на водной основе на рычажных весах (фото 1).

6.3.2. Количество глины, необходимое для приготовления раствора заданной плотности

$$P_1 = \rho_r (\rho_p - \rho_0) (1 + W)$$

$$P_2 = \frac{\rho_r (\rho_p - \rho_0)}{(\rho_r - \rho_p)}$$

где:  $P_1$  - масса глины на 1 м<sup>3</sup> глинистого раствора, т;

$P_2$  - масса глины на 1 м<sup>3</sup> глинистого раствора, т;

$W$  - влажность глины в долях единицы;

$\rho_r$  - плотность глины, г/см<sup>3</sup>;

$\rho_0$  - плотность воды, г/см<sup>3</sup>;

$\rho_p$  - плотность глинистого раствора, т/м<sup>3</sup>.

$W$  - влажность глины в долях единицы.

Растворы из местных глин проявляют тиксотропные свойства при концентрации от 15% до 40%.

6.4. Определение показателей водоотдачи и толщины глинистой корки глинистого раствора на приборе ВМ-6 (ISO 10414-1) (фото 2). Водоотдача глинистого раствора определяется количеством воды, профильтровавшейся за 30 минут через бумажный фильтр Ø75 мм при перепаде давления 0,1 МПа.

6.5. Определение содержания песка (ISO 10414-1) в глинистом растворе с помощью сетчатого фильтра, воронки и мерного цилиндра (фото 5).

6.6. Определение показателя условной вязкости глинистого раствора в соответствии с ISO 10414-1 воронки Марша (фото 3). Условная вязкость раствора характеризует его подвижность, способность проникать в поры и трещины породы. Для измерения условной вязкости раствор объемом 946 мл заливают в воронку. После этого

условную вязкость измеряют временем истечения 946 мл раствора из воронки, через трубку длиной 50,8 мм с диаметром проходного отверстия 4,7 мм.

6.7. Определение показателя стабильности глинистого раствора (экспериментальная методика с учетом положений РД39-00147001-773-2004). Стабильность раствора – способность сохранять основные параметры без изменения в течение определенного времени. Стабильность косвенно характеризует структурообразующие свойства раствора. Ее измеряют с помощью прибора ЦС-2 (фото 4). Цилиндр стабильности ЦС-2 представляет собой стакан емкостью 300 см<sup>3</sup>, в котором на середине высоты имеется слив с пробкой. Показатель стабильности определяют как разность верхней и нижней половин пробы раствора, отстаивавшегося в течение суток.

6.8. Определение показателя прочности коагуляционной структуры глинистого раствора в соответствии с ISO 10414-1 с помощью вискозиметра ротационного OFITE 800 (фото 6).

Статическое напряжение сдвига – показатель, определяющий реологические свойства растворов.

6.9. Подбор химдобавок для улучшения свойств глинистых растворов из местных полиминеральных глин в соответствии с требованиями СП 45.13330, таблица 14.3.

6.10. Оценка качества глинистых растворов осуществляется сравнением их качественных параметров с нормативными значениями эксплуатационных параметров, указанных в таблице 6.1. Количество проб и методы исследования приведены в таблице 6.2.

Таблица 6.1

№ п.п.	Эксплуатационные параметры глинистых растворов в соответствии с СП 45.13330	Нормативные значения параметра
1	Плотность раствора из местных полиминеральных глин	1,10 ÷ 1,30 г/см <sup>3</sup>
	из местных глин	1,10 ÷ 1,30 г/см <sup>3</sup>
2	Содержание песка	Не более 4%
3	Условная вязкость	18 ÷ 30 сек
4	Стабильность	Не более 0,02 г/см <sup>3</sup>
5	Водоотдача за 30 мин	Не более 30 см <sup>3</sup>
6	Толщина глинистой корки	Не более 4 мм
7	Статическое напряжение сдвига (СНС) через 10 мин	10 ÷ 50 мгс/см <sup>2</sup>

Таблица 6.2 - Количество проб и методы исследования

№ п/п	Определяемый параметр	Методика проведения испытания	Испытываемый материал	Количество испытаний
1	2	3	4	5
1	Отбор проб МПГ	ГОСТ 25795-83	Проба глины 3х карьеров	3*3=9 проб
2	Плотность раствора	ISO 10414-1	3 образца глинистых растворов 3х плотностей $\rho = 1,1; 1,15; 1,25$	3*3=9
3	Водоотдача и толщина глинистой корки	ISO 10414-1	3 образца глинистых растворов 3х плотностей $\rho = 1,1; 1,15; 1,25$	3*3=9
4	Условная вязкость	ISO 10414-1	3 образца глинистых растворов 3х плотностей $\rho = 1,1; 1,15; 1,25$	3*3=9
5	Стабильность глинистого раствора	Экспериментальная методика с учетом положений РД39-00147001-773-2004	3 образца глинистых растворов 3х плотностей $\rho = 1,1; 1,15; 1,25$	3*3=9
6	СНС статическое напряжение сдвига	ISO 10414-1	3 образца глинистых растворов 3х плотностей $\rho = 1,1; 1,15; 1,25$	3*3=9
7	Содержание песка	ISO 10414-1	3 образца глинистых растворов 3х плотностей $\rho = 1,1; 1,15; 1,25$	3*3=9
8	Определение химдобавок для улучшения качества	СП 45.13330	3 образца глинистых растворов 3х плотностей $\rho = 1,1; 1,15; 1,25$	-
9	Определение 5 показателей качества после обработки химдобавками	ISO 10414-1	3 образца глинистых растворов 3х плотностей $\rho = 1,1; 1,15; 1,25$	3*3*5 = 45*2 = 90
				Итого: 153

**7. Время и место проведения испытаний:** место проведения работ – Лаборатория «Фильтрационные исследования» им. акад. Н.Н. Павловского, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», г. Санкт-Петербург; ООО НИИЦ «Недра-тест», г Москва (контрольные испытания). Период проведения работ: июль-август 2019 года.

Исследования эксплуатационных параметров глинистых тиксотропных растворов, приготовленных на основе образцов местных полиминеральных глин трех карьеров, будут проводиться следующим коллективом исполнителей:

Ф.П. Собкалов, ответственный исполнитель, младший научный сотрудник АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева».

О.Н. Котлов, зав. отделом «Основания, грунтовые и подземные сооружения» АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», канд. геолого-минералогических наук;

М.Г. Лопатина, зав. лабораторией «Фильтрационные исследования» им. акад. Н.Н. Павловского АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», канд. техн. наук;

С.А. Быковская, инженер лаборатории «Фильтрационные исследования» им. акад. Н.Н. Павловского АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева».

**8. Результаты экспериментальных исследований:** в результате экспериментальных исследований будут получены систематизированные показатели эксплуатационных параметров тиксотропных растворов, приготовленных на основе местных полиминеральных глин. Полученные результаты позволят наглядно оценить пригодность местных полиминеральных глин для приготовления тиксотропных растворов в технологии строительства противофильтрационных завес способом «стена в грунте» и будут использованы при разработке предложений по внесению изменений в СП 45.13330. Земляные сооружения, основания и фундаменты.

**8.1.** Экспериментальные данные для оценки качества исходного сырья - полиминеральных глин карьеров, на основе которых будут приготовлены тиксотропные растворы.

Тиксотропный раствор контролируется при 3-х значениях его плотности: 1,15 г/см<sup>3</sup>, 1,20 г/см<sup>3</sup>, 1,25 г/см<sup>3</sup>, определяемых по ISO 10414-1.

- качество исходного глинистого раствора определяется по следующим параметрам:

- плотность раствора, г/см<sup>3</sup>;
- содержание песка, %;
- условная вязкость, сек;
- стабильность, г/см<sup>3</sup>;



- водоотдача за 30 мин, см<sup>3</sup>;
- толщина глинистой корки, мм;
- статическое напряжение сдвига через 10 мин, мгс/см<sup>2</sup>.

8.2. Экспериментальные данные оценки качества тиксотропных растворов после сравнительного анализа полученных показателей эксплуатационных параметров первичного раствора с нормативными параметрами, приведенными в СП 45.13330, табл. 14.2.

Контролируемые параметры:

- показатели параметров глинистых растворов, не соответствующие нормативным;
- химическая добавка в % для приведения этих показателей параметров глинистых растворов к нормативным (вид добавки и % его содержание подбирается в соответствии с СП 45.13330, табл.14.3).

8.3. Экспериментальные данные для оценки качества тиксотропных растворов после их обработки химическими добавками.

Контролируемые параметры получают в соответствии с ISO 10414-1; РД 39014001-773-2004 (перечень параметров выше в п.8.1).

Директор по научной деятельности  
АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»



В.Б. Штильман

Ответственный исполнитель,  
Младший научный сотрудник лаборатории  
«Фильтрационные исследования»  
им. акад. Н.Н. Павловского  
АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»



Ф.П. Собкалов



04.09.13.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ 4. МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕСТНЫХ ПОЛИМИНЕРАЛЬНЫХ ГЛИН В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПЛАСТИЧНЫХ ПФЗ СПОСОБОМ «СТЕНА В ГРУНТЕ»**

### *Аннотация*

Всё большую актуальность приобретает проблема экологической реабилитации техногенно-нагруженных территорий в разных регионах Российской Федерации [120, 124, 127]. Одной из задач, решаемых в ходе рекультивационных мероприятий или реконструкции гидротехнических сооружений (отвалов, накопителей отходов класса опасности от 1 до 5) на таких объектах, является создание противофильтрационных элементов (завес) с целью инженерной защиты подземных и поверхностных вод от попадания в них загрязненного (токсичного) фильтрата [119].

Для решения этих задач все более востребованной становится технология создания противофильтрационных элементов способом «стена в грунте», которая часто рассматривается на стадии технико-экономического обоснования проекта создания траншейных противофильтрационных завес в качестве варианта инженерной защиты территории [121]. Однако в большинстве случаев этот вариант игнорируется на стадии разработки проекта по ряду объективных причин.

Технологический процесс создания пластичных траншейных противофильтрационных завес (ПФЗ) способом «стена в грунте» состоит из двух основных этапов – проходка траншеи под глинистым тиксотропным раствором (ТР) и заполнение разрабатываемой траншеи противофильтрационным материалом (ПФМ). Практически во всех случаях для проходки траншей использовались тиксотропные растворы, приготовленные на основе привозных бентонитовых глин. Такое решение оправдано с технико-экономической точки зрения только для освоения подземного пространства в условиях тесной застройки городов – при создании подземных гаражей, торговых центров, станций метро [120].

Однако для решения актуальной проблемы инженерной защиты (реабилитации техногенно-нагруженных территорий, реконструкции отвалов, накопителей отходов класса опасности от 1 до 5) территорий большой площади и, следовательно, создания ПФЗ большой протяженности (более 1 км), где требуется использовать большие объемы качественного глинистого сырья, целесообразно и экономически оправдано использовать местные полиминеральные глины карьеров, расположенных в районе возведения ПФЗ взамен бентонитовых глин.

Замена дорогостоящих дефицитных бентонитовых глин широко распространенными и экономически эффективными местными глинами для приготовления ТР и ПФМ в технологии

строительства ПФЗ способом «стена в грунте» осуществима только при наличии отдельного нормативного документа, учитывающего особенности использования МПГ для приготовления на их основе ТР и ПФМ - алгоритм выбора пригодного глинистого сырья, способы повышения качества ТР и ПФМ на основе МПГ, подбор оборудования для приготовления качественных ТР и ПФМ, контроль качества ТР и ПФМ на основе МПГ на стройплощадке.

Методика, разработанная автором диссертационной работы, дает четкий и ясный алгоритм замены бентонитовых глин местными полиминеральными глинами (МПГ) в технологии строительства ПФЗ способом «стена в грунте» [127]. Методика комплексного использования МПГ, под которым подразумевается разработка рецептур качественных ТР и ПФМ из глинистых грунтов одного карьера вблизи стройплощадки, позволит более широко использовать МПГ в строительстве способом «стена в грунте» и, следовательно, существенно сократить себестоимость протяженных ПФЗ, возводимых с целью инженерной защиты территорий от загрязнения токсичными промышленными отходами.

Методика может быть использована проектными и строительными организациями, специализирующимися на возведении противодиффузионных завес способом «стена в грунте». Методику предлагается использовать в качестве дополнения к СП45.13330 и другим профильным ведомственным нормативам, регламентирующим проектирование и создание ПФЗ способом «стена в грунте» [121].

### ***Нормативные ссылки***

При разработке Методики использовались следующие нормативные документы:

1. СП 45.13330. Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87. Стандартинформ. 2017 [129].

2. Руководство по проектированию стен сооружений и противодиффузионных завес, устраиваемых способом «стена в грунте». - НИИОСП им. Н.М.Герсеванова. - М., Стройиздат. - 1977. - 129 с. [102].

3. ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация: межгосударственный стандарт. – М.: Стандартинформ, 2020. – 42 с. [22].

4. Руководство по применению глинистых и тампонажных растворов при строительстве способом «стена в грунте». - ВНИИГС - М.: ЦБНТИ Минмонтажспецстроя СССР, 1977. - 36 с. [101].

5. Рекомендации по регулированию параметров глинистой корки при строительстве противодиффузионных завес способом «стена в грунте». - НИИ оснований и подземных сооружений им. Н.М. Герсеванова Госстроя СССР. - М., 1984. - 18 с. [95].

6.Рекомендации по технологии устройства подземных сооружений методом «стена в грунте». - НИИОСП имени Н. М. Герсееванова, ВНИИГС. - М., 1979. - 129 с. [96].

7.Рекомендации по устройству подземных конструкций и противофильтрационных завес способом «стена в грунте». - НИИОСП им. Н.М.Герсееванова Госстроя СССР. - М., 1983 [97].

### ***Обозначения и сокращения***

МПГ - местные полиминеральные глины;

ППР – проект производства работ;

ПФМ - противофильтрационный материал (заполнитель траншеи);

ПФЭ - противофильтрационный элемент;

ПФЗ - противофильтрационная завеса;

ТР - тиксотропный раствор.

### ***Термины и определения***

*Захватка траншеи* – фрагмент траншеи, разрабатываемый для последующего ее заполнения ПФМ [129].

*Кольматация* – заполнение пор и трещин в грунте твердыми частицами нагнетаемого раствора, препятствующими фильтрации [129].

*Стена в грунте* - искусственно выполненная противофильтрационная завеса из пластичного или твердеющего ПФМ [129].

*Тиксотропность* - способность раствора загустевать в покое, образуя студенистую массу - гель, и разжижаться при механическом воздействии, превращаясь в вязкую жидкость - золь. Процесс может повторяться многократно.

*Тиксотропный глинистый раствор* - смесь глинистых частиц с водой.

*Траншейная стена в грунте* - подземная стена, сооружаемая в траншее под тиксотропным глинистым (или иным) раствором, с последующим заполнением траншеи монолитным железобетоном или сборными элементами [129].

*Форшахта* - специально возводимая на строительной площадке вспомогательная направляющая конструкция для последующего устройства монолитной траншейной «стены в грунте», предназначенная для обеспечения: заданного направления разработки грунта в траншее, защиты бортов траншеи от обрушения, проектного расположения арматурных каркасов в траншее и качественного бетонирования траншеи [133].

### ***Общие положения***

1. Методика представляет собой пошаговый алгоритм комплексного использования МПГ для приготовления ТР, используемых для удержания стенок траншей от обрушения при проходке грейферами или буровфрезерными машинами, и нетвердеющего ПФМ-заполнителя траншей.

2. Комплексное использование МПГ предполагает разработку рецептур двух разных по свойствам (характеристикам) и назначению материалов - тиксотропного раствора (ТР) и противofiltrационного материала (ПФМ) - из глинистых грунтов одного месторождения.

3. Основными условиями применимости методики комплексного использования МПГ для приготовления ТР и ПФМ на конкретном объекте являются:

- подтверждение (по результатам инженерно-геологических изысканий) отсутствия по трассе проектируемого ПФЭ: крупнообломочных грунтов с незаполненными пустотами между отдельными камнями; карста; текучих илов, залегающих у поверхности земли; насыпных грунтов с включением твердых предметов (например, брошенные рельсы, балки), которые исключают использование способа «стена в грунте» [56, 121];

- наличие качественного водоупорного основания, залегающего на глубине не более 35 метров с учетом допустимого градиента напора на ПФЗ из комовой глины  $I_0 = 30$ , максимально допустимой толщины «стены в грунте» в 1,2 м, а также с учетом необходимости минимального заглубления ПФЗ в водоупорное основание на 1,0 м.

4. Использование рекомендаций по приготовлению ТР и ПФМ из МПГ, представленных в настоящей методике, допустимо по отдельности. Например, в проектах сооружения твердеющих ПФЗ (материал-заполнитель - глиноцементный раствор или бетон) применимы рекомендации по приготовлению ТР из отобранных качественных МПГ. Или в тех случаях, когда требуется использовать только ПФМ из МПГ для сооружения пластичных стенок в грунте.

5. Применение методики комплексного использования МПГ окончательно закрепляется в проекте организации строительства (ПОС) который должен включать:

- состав и эксплуатационные параметры тиксотропных растворов, разработанных на основе МПГ в лаборатории, а также рецептуры ПФМ, приготовленных на основе МПГ;

- рекомендации по контролю качества тиксотропных растворов, приготовленных на основе МПГ [121];

- технологические схемы приготовления тиксотропных растворов на стройплощадке.

6. Для разработки рецептур ТР и ПФМ на основе МПГ необходимо изучить следующие исходные данные о проектируемом объекте из отчета по инженерно-геологическим изысканиям:

- наименование всех грунтов массива, в котором будет осуществляться проходка траншеи, по классификации СП;

- уровень грунтовых вод;

- химический анализ грунтовых вод;

- пористость грунтов, %;

- коэффициенты фильтрации каждого инженерно-геологического элемента, м/сут.

7. Для создания ПФЭ способом «стена в грунте» на постоянно эксплуатируемых сооружениях в сложных гидрогеологических условиях проектом предусматривается проведение опытно-производственных работ для проверки полученных в лаборатории рецептур ТР и ПФМ на опытном участке на территории стройплощадки..

8. Контроль качества растворов на стройплощадке производится с помощью полевой лаборатории ЛГР-3.

9. Рекомендации по комплексному использованию МПГ необходимо использовать с учетом требований СП45.13330 «Земляные сооружения, основания и фундаменты».

10. Использование глинистых растворов из МПГ в строительстве траншейных стен в грунте может быть ограничено в следующих случаях [129]:

- при высоком уровне грунтовых вод ( $\leq 1$  м от дневной поверхности) в сочетании со слабыми неустойчивыми грунтами траншейных стенок [116, 129];

- при использовании для гидротранспорта разрабатываемого в траншее грунта эрлифта или насосов [116, 129];

- при разработке глубоких траншей с длительными сроками возведения (заполнение траншеи), например, бетонных, железобетонных конструкций [116, 129];

- в стесненных городских условиях (например, вблизи фундаментов домов), где в случае обрушения траншейной стенки восстановление ее невозможно, независимо от ее назначения и конструкции.

11. Наибольшего технико-экономического эффекта от внедрения методики можно добиться при использовании МПГ взамен бентонитовых глин в рецептурах глинистых растворов и ПФМ в следующих условиях:

- карьеры МПГ находятся на расстоянии не более 50 км от стройплощадки;

- при строительстве протяженных (длиной более 1 км) траншейных завес;

- при создании противофильтрационной защиты территорий, примыкающих к хвостохранилищам, золоотвалам и другим видам накопителей промышленных отходов 1-5 классов опасности, а также при реабилитации (рекультивации) техногенно-нагруженных территорий [120].

### ***Предварительная оценка качества МПГ для приготовления ТР и ПФМ***

1. Предварительная (без проведения лабораторных исследований) оценка качества МПГ производится с использованием информации из паспорта месторождения МПГ, который запрашивается, например, через Российский федеральный геологический фонд.

2. Анализ паспортных характеристик МПГ начинается с изучения общих сведений о месторождении (карьере). Эта информация дает возможность предварительно оценить технико-экономическую целесообразность использования конкретного месторождения (карьера) в качестве источника глинистого сырья для приготовления ТР и ПФМ, а также определить общие характеристики глинистого сырья. Наиболее информативными данными о месторождении МПГ являются:

- месторасположение карьера: рекомендуется выбирать карьер на удалении не более 50 км от стройплощадки;
- степень промышленного освоения: позволяет оценить вероятные затраты на освоение месторождения, если оно находится в законсервированном состоянии;
- запасы глинистого сырья в карьере: сравниваются с требуемыми в проекте объемами глинистого сырья для сооружения ПФЗ, после чего выдается заключение о достаточности объемов глинистых грунтов для обеспечения строительного процесса сырьем;
- способ разработки карьера;
- гидрогеологические условия месторождения: позволяют оценить влажность исходных МПГ и объемы дополнительных затрат на подсушку или увлажнение МПГ;
- сферы использования глин в промышленности: можно предварительно (без анализа физико-механических характеристик и грансостава) оценить типы глинистого сырья в зависимости от целей его использования;
- петрографические показатели: позволяют определить тип глинистого сырья в соответствии с ГОСТ 25100.

3. Предварительная оценка качества глинистого сырья выбранных месторождений производится по единым критериям, которые представлены в таблице П4.1 и разделены на три блока:

- Физико-механические характеристики (число пластичности, влажность);
- Гранулометрический состав (глинистые, пылеватые и крупные пылеватые фракции, мелкозернистые пылеватые пески, песок крупный);
- Химико-минералогический состав.

Из паспорта месторождения МПГ в специальную форму в виде таблицы П4.1 выписываются значения представленных параметров и сравниваются с нормативными значениями.

Таблица П4.1 - Систематизированные единые критерии оценки качества глинистых грунтов по показателям их характеристик

Блок 1	Физико-механические характеристики	Единица измерения	Значение показателя	Среднее значение показателя	Показатели характеристик МПГ и гидрослюдистых глин		Регламентирующие нормативные документы
					Нормативный показатель	Предельное значение	
Показатели характеристик 1-го блока	1.1. Пластичность	%			≥ 20%	17÷27%	СП45.13330.2017 ГОСТ 5180-2015 ГОСТ 25100-2020 (табл. Б.17)
	1.2. Влажность	%			Для ТР - 5÷20%; Для ПФМ - 20÷25%	5÷25%	ГОСТ 30416-2020
Блок 2	Гранулометрический состав	Диаметр частиц, мм	Содержание фракции, %	Среднее значение показателя	Нормативный показатель	Предельные значения	Регламентирующие нормативные документы
Показатели характеристик 2-го блока	2.1. Глинистые	0,001÷0,005			≥ 40%	60÷30%	СП45.13330.2017 ГОСТ12536-2014
	2.2. Пылеватые фракции	0,005÷0,01			≤ 30%		не влияют на технологический процесс
	2.3. Крупные пылеватые фракции	0,01 ÷ 0,05			Вредные примеси, которые необходимо удалить гидратацией	≤ 15%	ГОСТ 12536-2014
	2.4. Мелкозернистые пылеватые пески	0,05 ÷ 0,1					
	2.5. Песок крупный	0,2÷1					
Блок 3	Химико-минералогический состав	Единица измерения	Значение показателя	Среднее значение показателя	Усредненный химический состав гидрослюдистых МПГ	Дополнительные критерии предварительной оценки качества МПГ на основе анализа химико-минералогического состава	
Показатели характеристик 3-го блока	3.1. $SiO_2$	%			47-55	1. Повышенное содержание $Fe_2O_3$ и $K_2O$ присуще гидрослюдистым глинам и МПГ. 2. Повышенное содержание $SiO_2$ , $Al_2O_3$ , $CaO$ , $MgO$ является признаком наличия высокого процента содержания глинистой фракции 0,001÷0,005 мм в МПГ. 3. Повышенное содержание $SiO_2$ и низкое содержание $Al_2O_3$ и $Fe_2O_3$ присуще суглинкам при сравнительном анализе проб глин и суглинков.	
	3.2. $Al_2O_3$	%			23-33		
	3.3. $TiO_2$	%			< 1		
	3.4. $Fe_2O_3$	%			1-10		
	3.5. $CaO$	%			0,15-1,2		
	3.6. $MgO$	%			1-3		
	3.7. $K_2O$	%			3-8		
	3.8. $Na_2O$	%			-		



#### 4. Физико-механические характеристики (блок 1 таблицы П4.1)

В блоке 1 таблицы представлены показатели физико-механических характеристик глинистых грунтов карьера. В состав характеристик входят:

*Число пластичности  $I_p$  (позиция 1.1)* относится к одному из критериев определения качества местных полиминеральных глин. По значению числа пластичности можно определить разновидность глинистых грунтов в соответствии с ГОСТ 25100:

при  $I_p > 17\%$  - глины;

при  $7\% < I_p \leq 17\%$  - суглинки;

при  $1\% \leq I_p \leq 7\%$  - супесь.

*Влажность (позиция 1.2)*. Величина влажности глинистых пород зависит от минералогического и гранулометрического состава грунта, а также от уровня грунтовых вод в карьере. Нормативным считается показатель влажности глинистого грунта, находящийся в диапазоне от 10% до 25% на пределе раскатывания (нижний предел пластичности). Использование глинистого грунта нормативной влажности (10-25%) для приготовления ТР и ПФМ позволяет оптимизировать технологический процесс создания ПФЗ способом «стена в грунте»:

- из технологического процесса исключается подсушивание глинистого грунта, связанное с необходимостью отведения больших площадей вдоль трассы завесы для складирования глинистого грунта и его обработку;

- использование глинистых грунтов нормативной влажности способствует росту набухания комьев глин в глинистом растворе при заполнении траншеи, благодаря чему ликвидируются пустоты между комьями;

- не происходит слипания комовых глин, которое чревато образованием сводов в траншее и пустот под ними. Благодаря этому обеспечивается однородность и сплошность пластичной ПФЗ после консолидации, обеспечивая тем самым высокую степень водонепроницаемости.

#### 5. Гранулометрический состав (блок 2 таблицы П4.1).

*Глинистые фракции (позиция 2.1)*. В классификации гранулометрического состава дисперсных пород за основной критерий качества принимают процентное содержание активных в физико-химическом отношении частиц глинистой фракции (крупностью  $d < 0,005$  мм и  $d < 0,001$  мм). Содержание этих частиц в наиболее качественных тяжелых глинах составляет более 60%; в глинах - 60÷30%; в суглинках - 30÷10%; в супесях - 20÷10%. Нормативное содержание глинистых фракций, определяющих их пригодность к использованию, должно составлять  $\geq 40\%$ .

Вторая группа фракций (позиции 2.3, 2.4, 2.5) состоит из трех фракций, каждая из которых относится к категории вредных примесей в составе глинистого грунта:

- крупные пылеватые фракции - 0,05-0,01 мм;
- мелкозернистые пылеватые пески - 0,1-0,05 мм;
- крупный песок - 1,0-0,5 мм.

Вторая группа оказывает негативное влияние на качество глинистых грунтов и ограничивает их использование в качестве сырья для приготовления тиксотропных растворов. Для обеспечения необходимого качества глинистого сырья крупные пылеватые фракции, мелкозернистые пылеватые пески и крупный песок должны быть удалены из его состава (например, методом гидратации). Суммарное остаточное содержание второй группы фракций в МПГ, предназначенных для приготовления ТР и ПФМ в технологии «стена в грунте», после очистки не должно превышать 15%.

Пылеватая фракция (позиция 2.2) размером частиц 0,01-0,005 мм - близкая по размеру глинистым частицам - практически не влияет на качество ТР, занимая нейтральное положение. Находится во взвешенном состоянии в ТР. Содержание ее в составе глинистого грунта не должно превышать 30%.

#### 6. Химико-минералогический состав (блок 3 таблицы П4.1).

Дополнительными критериями для предварительной оценки качества глинистых грунтов могут служить показатели характеристик химико-минералогического состава (позиции 3.1-3.8, блок 3). Критерием является сочетание характерных признаков показателей химико-минералогического состава глинистых грунтов, влияющих на их качество.

Дополнительные критерии для оценки качества МПГ рассматриваются совместно с показателями характеристик гранулометрического состава и показателями физико-механических характеристик.

*Перечень сочетаний характеристик химсостава, которые являются дополнительными критериями:*

- Повышенное содержание в химсоставе глинистого грунта окислов железа  $Fe_2O_3$  и калия  $K_2O$ , присущих гидрослюдистым полиминеральным глинам, к которым относятся кембрийские глины;
- Характерным признаком высокого содержания глинистых фракций крупностью от 0,001 до 0,005 мм в глинистом грунте является высокое содержание  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $CaO$  и  $MgO$ ;
- Признаком высокого содержания мелких фракций в глинистом грунте является сравнительно высокое содержание  $SiO_2$ ,  $CaO$  и  $MgO$  и пониженное содержание  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $K_2O$  и гумуса;

- Характерным признаком принадлежности МПГ к гидрослюдистым глинам является высокое процентное содержание  $K_2O$  (до 6,28%);

- При сравнительном анализе химсостава проб глин и суглинков последние отличаются большим содержанием кремнезема  $SiO_2$  и низким содержанием глинозема  $Al_2O_3$  и железа  $Fe_2O_3$ .

7. По итогам предварительной оценки качества МПГ выдается заключение, в котором в рамках технико-экономического обоснования строительства ПФЗ предварительно оценивается:

- возможность использования МПГ месторождения для приготовления на их основе ТР и ПФМ;

- достаточность объемов МПГ требуемого качества в рассматриваемом месторождении;

- объем работ по кондиционированию ТР и ПФМ на основе МПГ;

- расходы на транспортировку МПГ на стройплощадку.

8. После предварительной оценки качества МПГ и выдачи положительного заключения о пригодности исследуемых местных глин производится отбор проб глинистого сырья из месторождения с целью разработки на их основе оптимальных рецептур ТР и ПФМ.

9. Отбор проб местных полиминеральных глин выполняется в соответствии с п. 4 ГОСТ 25795-83 «Сырье глинистое в производстве глинопорошков для буровых растворов. Технические условия». Необходимо отобрать не менее 3-х проб глинистого сырья в разных местах месторождения с учетом специфики залегания пластов. Вес каждой пробы – не менее 3 кг.

10. Отобранные пробы МПГ транспортируются в лабораторию, где проводится исследования качества ТР и ПФМ, приготовленных на их основе.

### ***Приготовление глинистых растворов из МПГ***

1. Основное назначение глинистых растворов при проходке траншей сводится к следующим функциям:

- создание противодавления на стенки траншеи и предотвращение обрушения стенок в процессе проходки траншеи [65, 115, 120];

- вынос выбуренной породы из скважин с помощью эрлифта или насосов, при проходке траншей буровфрезерными машинами [115];

- удержание выбуренной породы во взвешенном состоянии при прекращении циркуляции [115].

2. Основными эксплуатационными параметрами глинистых растворов, приготовленных из МПГ, по которым оценивается их качество, являются:

- условная вязкость, характеризующая подвижность глинистого раствора, его способность проникать в поры грунта, проявляя при этом его кольматационные свойства [56,

116, 129]. Условная вязкость, замеряемая вискозиметром СПВ-5 (в составе мобильной лаборатории ЛГР-3) или с помощью вискозиметра Марша, должна составлять 18-50 секунд [129];

- суточный отстой и стабильность: мерой структурообразующей способности растворов является величина отстоя слоя воды на поверхности промывочной жидкости в течение суток; стабильность глинистого раствора дает оценку качества раствора и его способность удерживать во взвешенном состоянии частицы выбуренного грунта [56, 116]. Стабильность измеряется прибором ЦС-2. Нормативный показатель стабильности -  $\leq 0,02 \text{ г/см}^3$  [129]. Нормативное значение суточного отстоя -  $\leq 4\%$  [129];

- содержание песка - не более 4% и определяется на приборе ОМ-2 [56, 102, 129];

- плотность зависит от концентрации глины и других компонентов раствора и определяет величину гидростатического давления на стенки траншеи. Плотность определяется ареометром АГ-2 [127, 129]. Растворы из местных полиминеральных глин проявляют тиксотропные свойства при концентрации от 1,15 до 1,25% [56, 116];

- водоотдача характеризует способность глинистого раствора отдавать воду контактирующим породам - не более  $30 \text{ см}^3$  за 30 мин - и определяется по прибору ВМ-6 [56, 121, 129]. Толщина глинистой корки при этом не должна превышать 4 мм [121, 127, 129];

- статическое напряжение сдвига (СНС) характеризует прочность структуры и тиксотропность раствора в пределах 18-50  $\text{мгс/см}^2$  [56, 127, 129]. Прибор для измерения - ротационный вискозиметр или СНС-2 [129].

Для обеспечения нормативного качества ТР по указанным выше показателям следует выполнить расчет объемов и входящих в них компонентов с учетом условий приготовления и последующего использования ТР.

3. Необходимая плотность глинистого раствора  $\rho_p$  определяется, например, для песков из условия предельного равновесия стенок траншеи по формуле:

$$\rho_p = 1,1 (\rho_z \cdot h_z \cdot \varepsilon_A + \rho_o \cdot h_3 \cdot (1 - \psi \cdot \varepsilon_A)) / h_p,$$

где:

$\rho_z$  - плотность грунта,  $\text{г/см}^3$ ;

$\rho_o$  - плотность воды,  $\text{г/см}^3$ ;

$h_z$  - глубина траншеи, м;

$h_3$  - расстояние от дна траншеи до уровня грунтовых вол, м;

$\varepsilon_A$  - функция угла внутреннего трения.

$$\varepsilon_A = \text{tg}^2 (45^\circ - \varphi/2)$$

$h_p$  - расстояние от дна до уровня заполнения траншеи раствором;

$\varphi$  - угол внутреннего трения, град.

$$\Psi = 1 - n$$

$n$  - пористость грунта.

4. Количество глины, необходимое для приготовления раствора заданной плотности (таблица П4.2):

$$P_1 = \rho_z \cdot (\rho_p - \rho_o) \cdot (1+W);$$

$$P_2 = \rho_z \cdot (\rho_p - \rho_o) / (\rho_z - \rho_p),$$

где:

$P_1$  - масса глины на 1 м<sup>3</sup> раствора, т;

$P_2$  - масса глины на 1 м<sup>3</sup> воды, т;

$\rho_z$  - плотность глины, г/см<sup>3</sup>;

$\rho_o$  - плотность воды, г/см<sup>3</sup>;

$\rho_p$  - плотность раствора, г/см<sup>3</sup>;

$W$  - влажность глины, доли единицы.

5. При проходке траншей бурофрезерными агрегатами вращательного действия с гидротранспортом разрабатываемого грунта необходимо применять растворы из местных глин с минимально возможными для них плотностью, вязкостью и статическим напряжением сдвига.

6. Нормативные значения плотности, условной вязкости, статического напряжения сдвига, стабильности и водоотдачи раствора из местных глин достигаются путем его обработки механическим способом (перемешивание), гидратацией или химическими реагентами.

Таблица П4.2 - Расход МПГ для приготовления растворов различной плотности [56, 67]

Составляющие компоненты раствора	Расход глины при концентрации раствора, вес % [67]					
	15 [67]	20 [67]	25 [67]	30 [67]	35 [67]	40 [67]
	и плотности, г/см <sup>3</sup>					
	1,1	1,14	1,17	1,2	1,24	1,29
Воздушно-сухая глина	162	222	270	319	382	460
Вода	938	918	900	881	858	830
Глина влажностью 5%	168	229	279	330	395	475
Вода	933	911	891	870	845	815
Глина влажностью 10%	173	236	288	341	407	490
Вода	927	904	882	860	833	800
Глина влажностью 15%	178	243	297	351	420	506
Вода	922	897	873	848	820	769
Глина влажностью 20%	184	250	306	362	433	521
Вода	916	890	864	838	807	769 [67]

### *Регулирование показателей характеристик глинистых растворов*

1. Наиболее эффективным способом повышения качества растворов из местных глин являются химические реагенты, которые разделяются по их основному действию и назначению на три группы (рисунок П4.1), исходя из их основного действия и назначения [41, 56, 116]. К этим группам относятся:

- Защитные коллоиды [39, 56, 116];
- Электролиты [39, 56, 116];
- Поверхностно-активные вещества [39, 56, 116].

Блок-схема регулирования свойств глинистых растворов с помощью химических добавок

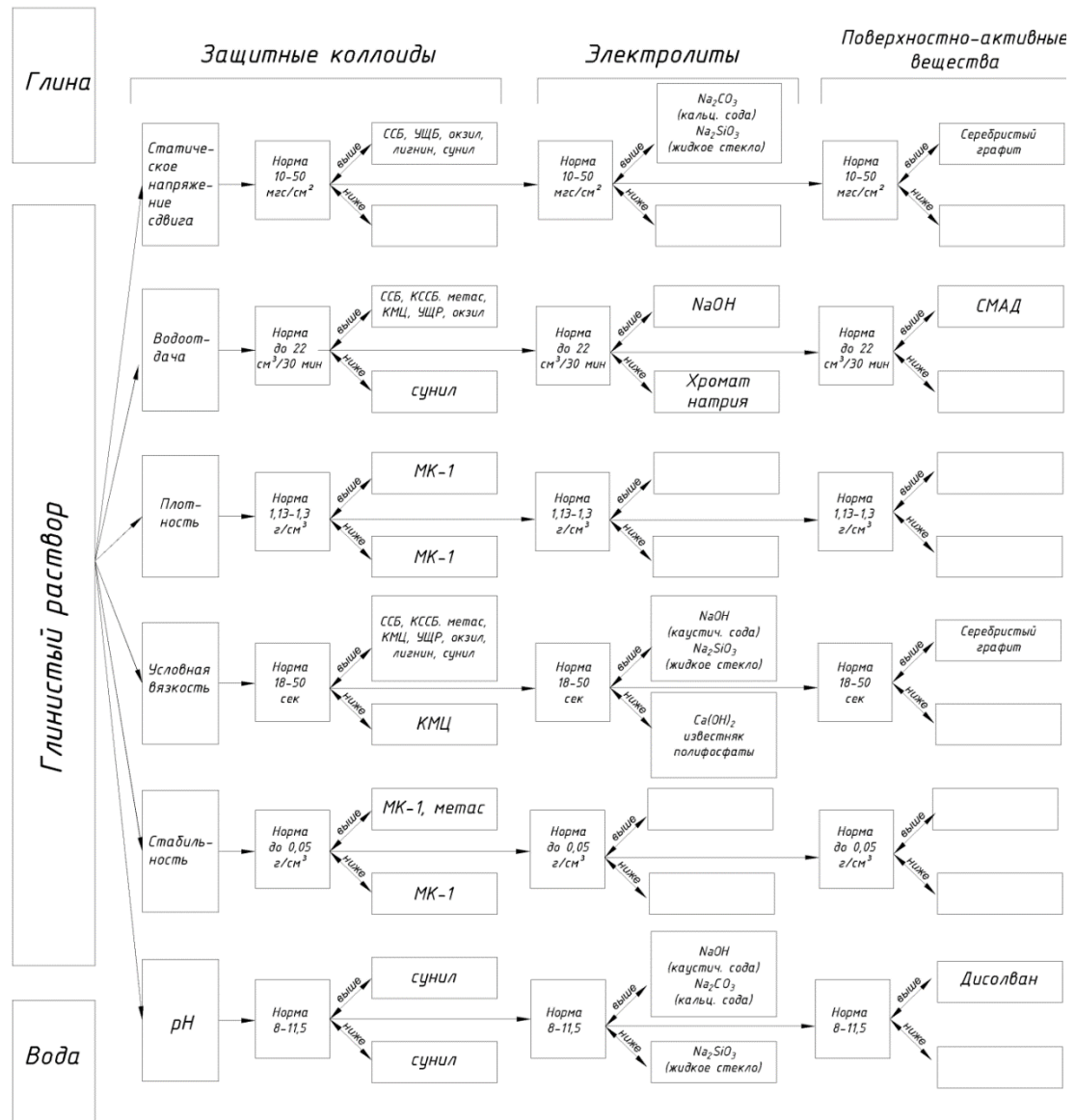


Рисунок П4.1 - Блок-схема регулирования эксплуатационных параметров глинистых растворов с помощью химических добавок

2. Защитные коллоиды. Введение защитных коллоидов в раствор предохраняет частицы глины от слипания при минерализации раствора, т.е. защитные коллоиды стабилизируют глинистые растворы (реагенты-стабилизаторы), а также за счет образуемых защитных слоев предохраняют частицы от слипания и снижают пористость, повышая тем самым плотность, и в связи с этим уменьшают водоотдачу приготовленного раствора (реагенты-понижители водоотдачи) [37, 39, 56]. В состав защитных коллоидов входят реагенты, которые снижают вязкость и статическое напряжение сдвига (понижители вязкости) [56, 121].

К защитным коллоидам относятся следующие химические реагенты: сульфит-спиртовая барда (ССБ); конденсированная ССБ; метас; гипан; карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ);

углещелочной реагент (УЩР); модифицированный крахмал (МК-1); окзил – окисленный и замещенный лигносульфонат; окисленный лигнин.

3. Электролиты. При обработке растворов из местных глин электролитами происходят обменные процессы между ионами частиц глины и ионами электролитов [37, 39, 56]. Использование электролитов наиболее эффективно для повышения стабилизации растворов (снижение водоотдачи), структурообразования и коагуляции, а также повышения рН раствора.

4. Поверхностно-активные вещества (ПАВ) и их классификация. ПАВ – вещества, понижающие поверхностное напряжение на границе жидкость-твердое тело или газ. Введением ПАВ в глинистый раствор можно регулировать рН от нейтральной до слабощелочной среды. ПАВ целесообразно применять при проходке траншей в карбонатных породах.

5. Химические реагенты для обработки глинистых растворов из местных полиминеральных глин могут вводиться в сухом состоянии, но чаще всего - в виде водного раствора. Водный раствор нужной концентрации может готовиться заранее и храниться в специальных емкостях. Состав и дозировку химических реагентов должны определять в лаборатории, исходя из фактических показателей качества глинистого грунта.

6. Растворы химических реагентов вводятся в глинистый раствор из МПГ на стадии его подготовки в глиномешалке, а также в резервную емкость с перемешивающим устройством для хранения ТР.

7. В таблице П4.3 приведены химические реагенты, используемые для улучшения параметров глинистых растворов, и процент их содержания. Значения плотности, статического напряжения сдвига и условной вязкости раствора из местных глин при проходке траншей ковшовыми землеройными машинами следует принимать в пределах соответственно: 1,13 - 1,30 г/см<sup>3</sup>; до 50 мг/см<sup>2</sup>; 18-50 с.



Таблица П4.3 - Дозировки и допустимые сочетания химических реагентов [37, 39]

Химический реагент	% вносимого реагента от массы глины	Возможные сочетания (комплексные добавки)	Примечание
<b><u>Защитные коллоиды:</u></b>			
Сульфит-спиртовая барда	3-6	УЩР	
Конденсированная сульфит-спиртовая барда (КССБ)	0,3-2,5		
Метас	0,2 - 2		
Гипан	0,5 - 2	КМЦ, УЩР	
Карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ)	0,5 - 2	Гипан	
Модифицированный крахмал (КМ-1)	1 - 1,2	КМЦ [37]	
Углекислотный реагент (УЩР)	5 - 8		
Торфощелочной реагент (ТЩР)	До 10		
Окисленный лигнин	5		
Сульфированный лигнин (Сунил)	0,1 - 0,5		
<b><u>Электролиты: [37]</u></b>			
Кальцинированная сода $Na_2CO_3$ [37]	0,25 - 0,2 [37]		
Каустическая сода $NaOH$ [37]	0,015 - 0,05 [37]		
Жидкое стекло $Na_2SiO_3$ [37]	0,2 - 1,5 [37]		
Поваренная соль $NaCl$ [37]	1 - 1,5 [37]		
Известь $Ca(OH)_2$ [37]	0,05 - 0,1 [37]		
Гексаметафосфат [37]	0,05 - 0,1 [37]		
<b><u>Поверхностно-активные вещества (ПАВ):</u></b>			
Дисолван	0,1 - 0,5		
Нейтрализованный черный контакт (НЧК)	3,0 - 2,5		

***Требования к глинистым грунтам (МПП) в качестве материала-заполнителя (ПФМ) траншеи при строительстве способом «стена в грунте»***

1. Траншея, разработанная под защитой глинистого тиксотропного раствора, заполняется комовой глиной (пластичный наполнитель), которая должна обладать необходимым качеством, обеспечивающим водонепроницаемость ПФЗ. Карьерная комовая глина (МПП), используемая в качестве нетвердеющего материала для заполнения траншей, должна в процессе ее укладки в траншею отвечать следующим требованиям [102, 112, 129]:

- содержать глинистые частицы диаметром менее 0,005 мм в количестве более 20% по массе [102, 129];

- быть плотной и медленно размокаемой в воде [102, 129];

- иметь явно выраженную комовую структуру в насыпи: основная масса комьев должна быть размером не менее 10 см, а максимальный размер комьев не должен превышать 1/3 ширины траншеи [102, 129];

- консистенция твердая, полутвердая или тугопластичная (т.е. с показателем консистенции  $0 < I_L \leq 0,50$ ) [102, 112, 129];

- влажность должна составлять 10÷20%, при этой влажности объемный вес грунта будет составлять  $\sim 1,4 \div 1,5 \text{ г/см}^3$  - при таком объемном весе комья глины легко погружаются в траншею, заполненную раствором, при ее заполнении ПФМ и не образуют сводов.

2. Противофильтрационная завеса для нормальной эксплуатации сооружения, в состав которого она входит, должна обладать заданной водонепроницаемостью, которая складывается из водонепроницаемости ПФМ и водонепроницаемости глинистой корки, зависящей от качества ТР и условий укладки ПФМ.

3. Глинистая корка, сформированная из тиксотропного раствора на основе МПП на стенках траншеи, является дополнительным гидроизолирующим слоем, который позволяет гасить часть напора на стенку. Коэффициенты фильтрации глинистых корок, сформированных из тиксотропных растворов на основе МПП, составляют в среднем  $10^{-10} \div 10^{-11}$  м/сут.

4. Местные полиминеральные глины, признанные пригодными для приготовления ТР, являются пригодными и для использования их в качестве материала-заполнителя траншейной ПФЗ.

5. Пригодность глинистых грунтов в качестве ПФМ должна обосновываться исследованиями, в ходе которых должны быть установлены фильтрационные и деформативные свойства тела завесы, образуемого после консолидации комовой глины в траншее [102, 112]. В особо ответственных случаях пригодность глинистых грунтов в качестве ПФМ должна обосновываться на опытно-производственном участке на стройплощадке [102, 112].

6. В тех случаях, когда качество материала-заполнителя траншеи, приготовленного из МПГ, не отвечает представленным нормативным требованиям - улучшения характеристик ПФМ можно добиться на стройплощадке следующими способами:

- если возникает необходимость измельчить комовые глины до требуемых нормативных размеров (10-20 см), то на площадке подготовки ПФМ проводится дискование комовых глин перед заполнением траншеи;

- обогащение комовых глин тиксотропным раствором, подаваемым по трубопроводу (позиция 7, рисунок 3.3.2) из емкости (позиция 6, рисунок 3.3.2) на площадку подготовки ПФМ (поз. 10), на которой производится обогащение комовых глин тиксотропным раствором, приготовленным на основе МПГ того же месторождения. После завершения цикла обработки, включающего контроль качества готового ПФМ, комовые глины подаются для заполнения пройденного участка траншеи;

- обогащение комовых глин тиксотропным раствором вторичного использования (загрязненного разрабатываемым в траншее грунтом). Этот вариант обогащения ПФМ из комовых глин применим только при условии, что показатели параметров исходного ТР отвечают всем нормативным требованиям. При вторичном использовании ТР, который вытесняется из блока траншеи при ее заполнении ПФМ, откачивается насосом на установку для его очистки.

Цикл откачки и очистки выполняется в следующей последовательности:

- раствор насосом (поз. 11, рисунок 3.3.2) подается на вибросито (поз. 12, рисунок 3.3.2), отсеянные примеси подаются на транспортер и сбрасываются в отвал;

- частично очищенный раствор поступает на гидроциклонный шламоотделитель (поз. 13, рисунок 3.3.2), в котором производится окончательная очистка раствора от шлама;

- очищенный раствор через накопительную емкость насосом подается на площадку подготовки ПФМ, где его смешивают с комовыми глинами;

- после прохождения контроля качества разработанная траншея заполняется обогащенными комовыми глинами.

Вторичное использование ТР, приготовленных на основе МПГ, с целью обогащения ПФМ должно быть обосновано технико-экономическими показателями, так как очистка загрязненных растворов является трудоемким и ресурсоемким технологическим процессом.

Особо следует отметить - вторичное использование ТР из МПГ недопустимо для основного его назначения в технологическом процессе проходки траншеи - для удержания ее стенок от обрушения.

7. Качество ПФМ из комовых глин обусловлено технологией ее укладки в траншею, при которой комовая глина, доставленная из карьера, сталкивается с торца в траншею

бульдозером или подается в траншею грейфером. При этом глина должна под собственным весом погружаться в траншею, заполненную глинистым раствором, образуя откос. При удовлетворительном заполнении объем глины (в насыпи) должен составлять около 70% геометрического объема траншеи [58, 59, 67, 102]. При отклонении свойств глины от указанных (быстрая размокаемость, мелкокомковатая или порошковая структура и др.) может происходить зависание глины в растворе с образованием свода, при этом нижняя часть траншеи останется незаполненной [58, 59, 67, 102].

8. Характеристики материала заполнения противofильтрационной завесы (плотность, коэффициент фильтрации) должны контролироваться путем отбора образцов из тела завесы и их испытания в лабораторных условиях из расчета 30 проб на 1000 м ПФЗ [129].

9. При необходимости эксплуатационные параметры материалов-заполнителей противofильтрационных завес можно улучшать путем химической обработки. Добавка силиката натрия в количестве 3,5-4,5% по массе материала-заполнителя значительно (в 6 и более раз) снижает коэффициент фильтрации ПФМ и способствует повышению допустимых градиентов напора для пластичной противofильтрационной завесы.

10. Контроль качества укладки материала заполнения в противofильтрационную завесу должны осуществлять путем определения его плотности и влажности через каждые 20-25 м их длины, например с использованием радиоизотопного метода [129].

### ***Технология и оборудование для приготовления глинистых растворов***

1. Для приготовления глинистого раствора, его хранения и подачи в траншею в процессе проходки организуются глинистые хозяйства. В их состав включается следующее оборудование:

- глинорастворные узлы с глиномешалками и механическими диспергаторами;
- передвижные и стационарные емкости для хранения необходимых запасов раствора;
- трубопроводы для перекачки раствора в процессе проходки и заполнения траншей;
- насосы, эрлифты для перекачки чистого и зашламованного раствора;
- склады, погрузочно-разгрузочные узлы для комовой глины и растарочные установки для глинопорошков.

2. Раствор готовится из местных комовых глин и обрабатывается в смесителях или из глинопорошков, обрабатываемых в растворомешалках (см. схему на рисунке 3.3.2).

3. Растворный узел должен обеспечивать сменный объем глинистого раствора с учетом неравномерности проходки траншеи, приготовления и подачи в траншею.

4. Для приготовления глинистого раствора из комовых глин используются механические смесители, а также двухвальные глиномешалки.

5. Для приготовления глинистого раствора из замоченных и комовых глин используются высокопроизводительные фрезерно-струйные мельницы.

6. Для подачи раствора в траншею используются грязевые насосы, а также центробежные насосы.

7. Гидротранспорт разрабатываемого в траншее грунта производится эрлифтами, надежная работа которых обеспечивается при глубине их погружения более 6 м. При меньшей глубине для откачки загрязненного раствора применяются насосы типа С.

8. Отделение песчаных примесей от глинистого раствора осуществляется на виброситах или в ситогидроциклонных установках.

9. В состав технологической линии для обработки комовых глин входят технологические емкости, каждая из которых выполняет определенные функции в зависимости от гранулометрического состава и содержания крупных включений в комовых глинах:

- емкость для предварительного замачивания глин (100 вес. ед. глины на 50 вес. ед. воды). Предварительное замачивание глины снижает водоотдачу и отстой в 1,5-2 раза;

- емкость для хранения размятой комовой глины, доведенной до состояния густого однородного теста;

- промежуточная емкость для растворов, которые подвергаются химической обработке для регулирования их свойств;

- емкость для готовой суспензии объемом суточной потребности.

10. Время размешивания глины и воды в мешалках рекомендуется в ППР и уточняется в процессе производства работ на строительной площадке. Размешивание глины и воды, например, в двухвальной глиномешалке производится 30-40 минут (в одновальной - 60-80 мин) при скорости вращения до 60 об/мин. После внесения химических добавок размешивание раствора продолжается еще 10-15 мин.

11. Технологический процесс приготовления глинистого раствора выполняется в такой последовательности:

- глиномешалка заливается наполовину водой, затем для смягчения воды по расчету вносят кальцинированную соду или натрий фосфат;

- добавляется расчетное количество пластичной глины и производится перемешивание в течение 15-20 мин;

- полученный раствор доводится до расчетной концентрации и перемешивается еще 20-25 мин;

- готовый раствор сливается через сетку в запасную емкость.

12. Проектом производства работ предусматривается порядок введения химических реагентов для улучшения эксплуатационных качеств глинистого раствора.

13. Для подачи растворов в траншею рекомендуется применять грязевые и центробежные насосы.

14. При отрицательной температуре наружного воздуха необходимо принять меры для предотвращения замерзания раствора. Для этого необходимо добавлять противоморозные добавки или подогревать раствор на растворном узле до температуры 40-50 °С.

15. Расход раствора из МПГ на 1 м<sup>2</sup> стенки в грунте рекомендуется в ППР на основе расчета, который учитывает возможность его потерь.

16. Подача раствора от растворного узла осуществляется по трубопроводам диаметром не менее 100 мм, смонтированным вдоль трассы траншеи. Трубопроводы наращиваются по мере проходки траншеи.

17. От магистрального трубопровода подача раствора в траншею осуществляется по трубам диаметром 100 мм на расстояние до 500 м и по гибким шлангам длиной до 50 м. По окончании подачи растворопровод должен быть очищен от раствора сжатым воздухом.

***Контроль качества растворов, приготовленных на основе местных полиминеральных глин***

1. Контроль качества растворов из местных глин должен осуществляться в процессе приготовления его на растворном узле и при проходке траншеи.

2. Контроль качества глинистых растворов должен осуществляться непосредственным исполнителем в процессе разработки траншеи и приготовления глинистого раствора.

3. Пробы глинистого раствора для контроля качества необходимо отбирать: свежеприготовленные - в мешалке; из емкостей для хранения раствора; из траншеи во время ее разработки; перед заполнением траншеи противифльтрационным материалом, а также после перерыва в работе более 1 суток.

4. Пробы из траншеи рекомендуется отбирать пробоотборником ППР-1 через 3-5 м по глубине и на расстоянии 15-20 см от дна и стен траншеи. Параметры отобранных растворов должны быть занесены в журнал.

5. Порядок контроля и ответственные за его выполнение лица должны быть указаны в ППР. Представители авторского надзора, заказчик и непосредственные исполнители должны быть ознакомлены со способом контроля.

6. В процессе приготовления раствора на растворном узле контролируются эксплуатационные параметры глинистого раствора, перечень и нормативные значения которых представлены в СП 45.13330 [129]:

- плотность - 1,10 ÷ 1,30 г/см<sup>3</sup> (определяется ареометром АГ-2) [129];

- условная вязкость -  $18 \div 30$  сек (вискозиметр СПВ-5) [129];
- водоотдача за 30 мин - не более  $30 \text{ см}^3$  (прибор ВМ-6) [129];
- суточный отстой воды - не более 4% (мерный цилиндр) [129];
- содержание песка - не более 4% (отстойник ОМ-2) [129];
- стабильность - не более  $0,05 \text{ г/см}^3$  (цилиндр ЦС-1) [129];
- толщина глинистой корки - не более 4 мм (прибор ВМ-6) [129];
- статическое напряжение сдвига через 10 мин после перемешивания -  $10 \div 50 \text{ мгс/см}^2$  (СНС-2) [129].

7. В процессе разработки траншеи необходимо следить за уровнем глинистого раствора в траншее, проверять качество раствора, находящегося в траншее с помощью лаборатории ЛГР-3.

8. Наличие в грунтах сильно минерализованных грунтовых вод, содержащих соли кальция и магния в количестве, превышающем  $200 \text{ мг/л}$ , требует применения растворов из палыгорскитовых глин.

9. На всех этапах контроля качества растворов от его приготовления до использования при проходке траншеи необходимо вести журнал контроля качества глинистых растворов.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 5. АВТОРСКИЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА





РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**
 НА ИЗОБРЕТЕНИЕ  
 № 2579780

**КАСКАДНЫЙ СПОСОБ СОЗДАНИЯ  
ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННОЙ ЗАВЕСЫ (ПФЗ),  
СООРУЖАЕМОЙ СПОСОБОМ "СТЕНА В ГРУНТЕ" НА  
ОТКОСЕ С УКЛОНОМ БОЛЕЕ 3°**

Патентообладатель (ли): *Акционерное общество "Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники имени Б.Е. Веденеева" (RU)*

Автор(ы): *Собкалов Петр Федорович (RU), Собкалов Федор Петрович (RU), Сальский Станислав Викторович (RU)*

Заявка № 2015108465

Приоритет изобретения 11 марта 2015 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 11 марта 2016 г.

Срок действия патента истекает 11 марта 2035 г.

*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

*Г.И. Налиев*



## ПРИЛОЖЕНИЕ 6. СПРАВКА О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ



### СПРАВКА

#### о внедрении результатов исследований, полученных в диссертации Ф.П. Собкалова «Создание противофильтрационных элементов гидротехнических сооружений способом «стена в грунте» с комплексным использованием местных полиминеральных глин»

Результаты диссертационного исследования Собкалова Ф.П., представленного на соискание ученой степени кандидата технических наук, использованы при разработке проектно-сметной документации по «Рекультивации территорий бывшего ОАО «Средневолжский завод химикатов» (г. Чапаевск)», которая получила положительное заключение Государственной экологической экспертизы на основании приказа Управления Росприроднадзора по Самарской области №849 от 22.08.2014 г. и ФАУ «Главгосэкспертизы России» №1023-15/ГГЭ-8972/02 от 27.07.2015 г.

Работа выполнялась в период с 2012 по 2013 гг. и была направлена на снижение стоимости производства работ способом «стена в грунте» при создании противофильтрационных завес (ПФЗ) для локализации высокотоксичного содержимого емкостей отстойников и накопителей от окружающих подземных вод с целью:

- минимизации образования новых отходов (загрязненной воды), направляемых на термообезвреживание;
- ликвидации притоков грунтовых вод в котлованы через его борта при разработке отстойников и накопителей;
- предотвращения распространения загрязненных стоков в водоносные горизонты.

К ключевым результатам исследования Собкалова Ф.П., которые позволили существенно минимизировать затраты на создание ПФЗ на объекте в г. Чапаевск, относятся:

1. Внедрение методики комплексного использования местных полиминеральных глин (МПГ) для приготовления тиксотропных растворов (ТР) и противофильтрационных материалов (ПФМ) при создании ПФЗ способом «стена в грунте» вокруг накопителей высокотоксичных отходов. Суть методики заключалась в разработке рецептур двух разных по свойствам и назначению качественных материалов (ТР и ПФМ) на основе МПГ Преображенского карьера в Самарской области.
2. Внедрение каскадного способа создания ПФЗ способом «стена в грунте» при проходке траншей большой протяженности на участках с уклоном более 3°.
3. Внедрение инновационного способа создания водонепроницаемого сопряжения ПФЗ на площадке с большим перепадом высот, что особенно актуально при возведении ПФЗ большой протяженности способом «стена в грунте» на пересеченной местности.

Внедрение методики комплексного использования МПГ и инновационных конструктивных решений позволило сократить совокупные затраты на создание ПФЗ способом «стена в грунте» на объекте - с 2,03 млрд руб. до 1,05 млрд руб., то есть почти в 2 раза.

Директор ООО «НПК Проектводстрой»



К.В. Дьякова

22.06.2022г.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 7. 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.