ПУБЛИЧНОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ФЕДЕРАЛЬНАЯ ГИДРОГЕНЕРИРУЮЩАЯ КОМПАНИЯ-
РУСГИДРО»
(ПАО «РУСГИДРО»)

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО СОЗДАНИЮ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕСТНЫХ ПОЛИМИНЕРАЛЬНЫХ ГЛИН

СТО РусГидро 01.01.153-2025

Издание официальное

Москва – 2025

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 29.06.2016 № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации», правила применения Стандарта - ГОСТ Р.1.4-2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Общие положения».

Сведения о Стандарте

1 РАЗРАБОТАН	Акционерным обществом «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники им. Б. Е. Веденеева» (АО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева»)
2 ВНЕСЕН	Департаментом технического регулирования, по рекомендации Комиссии по техническому регулированию (протокол от 02.12.2024 №62)
3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ	приказом ПАО «РусГидро» от 10.02.2025 №103
4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ	

Настоящий Стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения ПАО «РусГидро»

Содержание

1 ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ 1
2 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ 3
3 ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ 5
4 СОКРАЩЕНИЯ 7
5 ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ТРАНШЕЙНЫХ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СПОСОБОМ «СТЕНА В ГРУНТЕ» С КОМПЛЕКСНЫМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕСТНЫХ ПОЛИМИНЕРАЛЬНЫХ ГЛИН 7
6 ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА МПГ 13
7 ПОДБОР ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЦЕПТУР И СПОСОБОВ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ГЛИНИСТЫХ РАСТВОРОВ, ПРИГОТОВЛЕННЫХ НА ОСНОВЕ МЕСТНЫХ ПОЛИМИНЕРАЛЬНЫХ ГЛИН 18
8 ПОДБОР ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЦЕПТУР И СПОСОБОВ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ МЕСТНЫХ ПОЛИМИНЕРАЛЬНЫХ ГЛИН 35
9 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА СОЗДАНИЯ ПФЭ СПОСОБОМ «СТЕНА В ГРУНТЕ» С КОМПЛЕКСНЫМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕСТНЫХ ПОЛИМИНЕРАЛЬНЫХ ГЛИН 42
10 КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПРОТЯЖЕННЫХ ПФЭ СПОСОБОМ «СТЕНА В ГРУНТЕ» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕСТНЫХ ПОЛИМИНЕРАЛЬНЫХ ГЛИН 48
11 КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПФЭ, СОЗДАВАЕМОГО СПОСОБОМ «СТЕНА В ГРУНТЕ» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МПГ 52
ПРИЛОЖЕНИЕ А 62
ПРИЛОЖЕНИЕ Б 63
БИБЛИОГРАФИЯ 64

ВВЕДЕНИЕ

Стандарт «Методические указания по созданию противофильтрационных элементов гидротехнических сооружений с использованием местных полиминеральных глин» (далее – Стандарт) разработан в соответствии с требованиями Федерального закона от 29.06.2016 № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации».

Стандарт является локальным нормативным актом (документом) ПАО «РусГидро» и устанавливает требования к созданию противофильтрационных элементов гидротехнических сооружений с использованием местных полиминеральных глин.

При разработке Стандарта использованы требования нормативных документов по проектированию и строительству сооружений, возводимых способом «стена в грунте».

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО СОЗДАНИЮ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕСТНЫХ ПОЛИМИНЕРАЛЬНЫХ ГЛИН

Дата введения – 01.04.2025

1 Область применения

1.1 Стандарт «Методические указания по созданию противофильтрационных элементов гидротехнических сооружений с использованием местных полиминеральных глин» (далее – Стандарт) устанавливает требования к технологии строительства противофильтрационных элементов гидротехнических сооружений способом «стена в грунте» с учетом комплексного использования местных полимерных глин взамен дорогостоящих бентонитовых глин.

1.2 Требования Стандарта распространяются на организации (общества, компании), осуществляющие функции заказчика проектных, строительных и монтажных работ, при создании новых, реконструкции и ремонтах находящихся в эксплуатации грунтовых гидротехнических сооружений; на проектные, конструкторские, научно-исследовательские организации, разрабатывающие проекты, проводящие исследования по обоснованию проектных решений для нового строительства, реконструкции, ремонтов, а также консервации (рекультивации) и ликвидации грунтовых сооружений; на строительные, монтажные, промышленные и иные организации, в любой форме привлекаемые заказчиком к созданию новых или к реконструкции грунтовых гидротехнических сооружений; специализированные организации, осуществляющие экспертный анализ проектов гидротехнических сооружений и в установленном порядке участвующие в контроле безопасности строящихся и вводимых в эксплуатацию гидротехнических сооружений.

Методические указания следует использовать при создании нетвердеющих траншейных противофильтрационных завес (ПФЗ) способом «стена в грунте» в процессе обоснования их использования при проектировании, строительстве, ремонте и реконструкции грунтовых сооружений и/или при подготовке оснований, проверке соответствия качества материалов требованиям проектной документации, нормативных документов, паспортам и сертификатам, а также требованиям технических регламентов в целях обеспечения безопасности сооружений.

Требования Стандарта не распространяются на устройство противофильтрационных элементов гидротехнических сооружений способом «стена в грунте» в районах сейсмичностью 7 баллов и более, а также в районах с вечномерзлыми и многолетнемерзлыми грунтами.

1.3 Стандарт предназначен для обязательного применения в ПАО «РусГидро».

Подконтрольные организации ПАО «РусГидро» применяют требования Стандарта после присоединения к Стандарту и всем последующим изменениям к нему и признания Стандарта в качестве локального нормативного акта (документа).

1.4 Требования Стандарта обязательны для выполнения сторонними организациями и физическими лицами, выполняющими работы (оказывающими услуги) в области его применения по договорам с ПАО «РусГидро» и (или) с его филиалами, подконтрольными организациями, если такое обязательство закреплено в заключаемых с ними договорах.

1.5 Обязательность применения требований Стандарта ограничена их деятельностью на объектах, расположенных в Российской Федерации, владельцами или инвесторами (застройщиками) которых являются ПАО «РусГидро» и (или) его подконтрольные организации.

1.6 Применение требований Стандарта для целей зарубежной экономической деятельности определяется соответствующим международным соглашением.

1.7 При расхождении требований Стандарта с требованиями локальных нормативных актов и иных документов ПАО «РусГидро», изданных до его утверждения, следует руководствоваться требованиями Стандарта.

1.8 При введении в действие (внесении изменений) в нормативные правовые и (или) нормативные технические акты, а также при внесении организацией-изготовителем оборудования изменений в конструкторскую

документацию, требования которых отличаются от приведенных в Стандарте, следует руководствоваться требованиями вновь введенных (измененных) документов до внесения в Стандарт соответствующих изменений.

2 Нормативные ссылки

В Стандарте использованы ссылки на следующие нормативные документы:

ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация: межгосударственный стандарт.

ГОСТ 30416-2020. Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения.

ГОСТ 12536-2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава: межгосударственный стандарт.

ГОСТ 25584-2016 Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации: межгосударственный стандарт.

ГОСТ 5180-2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик: межгосударственный стандарт.

ГОСТ 23278-2014. Грунты. Методы полевых испытаний проницаемости.

ГОСТ 12071-2014. Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов: межгосударственный стандарт.

ГОСТ 33213-2014 (ISO 10414-1:2008). Контроль параметров буровых растворов в промысловых условиях. Растворы на водной основе.

ГОСТ 25796.2-83. Сырье глинистое в производстве глинопорошков для буровых растворов. Методы определения свойств суспензии.

ГОСТ 25796.0-83. Сырье глинистое в производстве глинопорошков для буровых растворов. Общие требования к методам испытаний.

СП 39.13330.2012 Плотины из грунтовых материалов. Актуализированная редакция СНиП 2.06.05-84.

СП 104.13330.2016 Инженерная защита территории от затопления и подтопления. Актуализированная редакция СНиП 2.06.15-85.

СП 58.13330.2019. Гидротехнические сооружения. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 33-01-2003.

СП 45.13330.2017. Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87: свод правил.

СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания

для строительства. Часть VI. Правила производства геофизических исследований.

СП 48.13330.2019. Организация строительства. СНиП 12-01-2004: свод правил.

СП 127.13330.2023. Полигоны по обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных отходов. Основные положения по проектированию. СНиП 2.01.28-85: свод правил.

СТО 17330282.27.010.001-2008 Электроэнергетика. Термины и определения.

СТО НОСТРОЙ 2.5.74-2012. Основания и фундаменты. Устройство «стены в грунте». Правила, контроль выполнения и требования к результатам работ.

СТО 36554501-017-2009. Проектирование и устройство монолитной конструкции, возводимой способом «стена в грунте».

СТО 70238424.27.140.002-2010. Гидротехнические сооружения ГЭС и ГАЭС. Условия создания. Нормы и требования.

СТО 70238424.27.140.011-2010. Гидроэлектростанции. Условия создания. Нормы и требования.

СТО ВНИИГ 05.12.01-1.2022 Руководство по геотехническому контролю при подготовке оснований и возведении насыпных грунтовых сооружений.

Инструкция по технологии и механизации строительства противофильтрационных диафрагм и монолитных несущих стен методом «стена в грунте». РСН 316-79.

Пособие по производству работ при устройстве оснований и фундаментов (к СНиП 3.02.01-83).

Пособие по технологии возведения плотин из грунтовых материалов к СНиП 2.06.05-84 и СНиП 3.07.01-85: П-885-91.

Рекомендации по проектированию плотин из грунтовых материалов. Раздел: «Проектирование противофильтрационных и дренажных устройств»: П 783-85.

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.

Рекомендации по технологии устройства подземных сооружений методом «стена в грунте». – НИИОСП имени Н. М. Герсеванова, ВНИИГС.

Рекомендации по устройству подземных конструкций

и противофильтрационных завес способом «стена в грунте». – НИИОСП им. Н.М. Герсеванова Госстроя СССР.

Рекомендации по устройству подземных сооружений способом «стена в грунте». - НИИОСП им. Н.М. Герсеванова Госстроя СССР.

Руководство по возведению заглубленных сооружений и конструкций методом «стена в грунте». - ВНИИГС Госстроя УССР.

Руководство по применению глинистых и тампонажных растворов при строительстве способом «стена в грунте». - ВНИИГС.

Руководство по проектированию стен сооружений и противофильтрационных завес, устраиваемых способом «стена в грунте». – НИИОСП им. Н.М. Герсеванова.

СН 477-75. Временная инструкция по проектированию стен сооружений и противофильтрационных завес, устраиваемых способом «стена в грунте».

СО 34.21.308-2005. Гидротехника. Основные понятия. Термины и определения.

Технические условия. ТУ-39-0147001-105-93. Глинопорошки для буровых растворов. Министерство нефтяной промышленности.

Примечание - при пользовании Стандартом целесообразно проверить действие ссылочных документов в информационной системе общего пользования – на официальном сайте национального органа Российской Федерации по стандартизации в сети Интернет, или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году, СТО ПАО «РусГидро» - по официальному регулярно обновляемому перечню применяемых нормативных документов. Если ссылочный документ заменен (изменен), то при пользовании Стандартом следует руководствоваться замененным (измененным) документом. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В Стандарте применены термины по СТО 17330282.27.010.001-2008, ГОСТ Р 70214-2022, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **водопроницаемость грунта:** Свойство грунта пропускать жидкость под действием перепада гидростатического напора. Количественно водопроницаемость характеризуется коэффициентом фильтрации.

3.2 **глинистый грунт:** Связный грунт, обладающий свойством пластичности за счет содержания минеральных частиц глинистой и пылеватой фракций.

3.3 **градиент напора фильтрующейся воды:** Отношение разности (перепада) пьезометрических напоров в двух точках фильтрационного потока к расстоянию между этими точками, измеряемому вдоль линии тока.

3.4 **гранулометрический состав грунта:** Процентное содержание первичных (т.е. не связанных в агрегаты) частиц различной крупности по фракциям, выраженное по отношению к их общей массе.

3.5 **деструкция при замачивании (размокание):** Нарушение структуры грунта (в том числе несвязного), характеризуемое его разрыхлением и полной потерей связности вследствие внутрипорового давления, возникающего при интенсивном капиллярном впитывании грунтом воды во время его замачивания и прекращения действия капиллярных (менисковых) сил.

3.6 **диспергация глинистого раствора:** Процесс гидродинамической обработки, который используется для повышения качества глинистых растворов при их приготовлении и обработке во время строительства способом «стена в грунте».

3.7 **захватка траншеи**: Фрагмент траншеи, разрабатываемый для последующего ее заполнения ПФМ.

3.8 **кольматация**: Заполнение пор и трещин в грунте твердыми частицами нагнетаемого раствора, препятствующими фильтрации.

3.9 **коэффициент фильтрации:** Характеристика водопроницаемости пористой или трещиноватой среды, равная коэффициенту пропорциональности между скоростью ламинарной фильтрации и градиентом напора.

3.10 **стена в грунте:** Искусственно выполненный противофильтрационный элемент из пластичного или твердеющего ПФМ, а также способ создания противофильтрационных элементов с использованием тиксотропного глинистого раствора.

3.11 **тиксотропность:** Способность раствора загустевать в покое, образуя студенистую массу - гель, и разжижаться при механическом воздействии, превращаясь в вязкую жидкость - золь. Процесс может повторяться многократно.

3.12 **тиксотропный глинистый раствор:** Смесь глинистых частиц с водой.

3.13 **траншейная стена в грунте:** Подземная стена, сооружаемая в траншее под тиксотропным глинистым (или иным) раствором, с последующим заполнением траншеи противофильтрационным материалом.

3.14 **фильтрационная прочность:** Способность самого сооружения и/или его основания сопротивляться разрушающему воздействию фильтрационного потока, проявляющемуся в виде механической или химической суффозии.

3.15 **фильтрационные деформации грунта:** Деформации твердой фазы грунта, вызываемые главным образом силами гидравлического воздействия; различают опасные и безопасные фильтрационные деформации; опасные – в результате которых сооружение может разрушиться; безопасные – которые с течением времени прекращаются и не грозят целости сооружения, сюда относятся, например, наблюдаемые в начальный период эксплуатации земляных сооружений незначительный вынос или отложение мелких пылеватых частиц грунта.

3.16 **фильтрация:** Движение жидкости через пористую или трещиноватую среду: грунты, скальные породы, искусственные материалы и др.

3.17 **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.

4 Сокращения

ГТС – гидротехническое строительство;

ГЭС – гидроэлектростанция;

МПГ – местные полиминеральные глины;

ИГЭ – инженерно-геологический элемент;

НБ – нижний бьеф;

ППР – проект производства работ;

ПФМ – противофильтрационный материал (заполнитель траншеи);

ПФЭ – противофильтрационный элемент;

ПФЗ – противофильтрационная завеса;

ТР – тиксотропный раствор;

ТЭО – технико-экономическое обоснование.

5 Технология строительства траншейных противофильтрационных элементов способом «стена в грунте»

с комплексным использованием местных полиминеральных глин

5.1 Рекомендуемая область применения траншейных «стен в грунте» в ГТС

5.1.1 В отечественной и зарубежной практике в различных областях строительства для создания заглубленных сооружений используется технология производства работ способом «стена в грунте».

5.1.2 Применение ПФЭ, созданных с использованием местных полиминеральных глин, может иметь широкое распространение в самых различных областях народного хозяйства: промышленном и гражданском строительстве, энергетике, добывающей и перерабатывающей промышленности и др.

5.1.3 В зависимости от функционального назначения способ «стена в грунте» в гидротехническом строительстве используется в создании надежных противофильтрационных элементов и сооружений инженерной защиты:

- в теле грунтовых плотин и их основаниях - для предотвращения фильтрационных деформаций грунтов основания - механической и химической суффозий, снижение до нормативных значений фильтрационного давления на подошву плотины;

- в дамбах обвалования водохранилищ ГЭС, ГАЭС – для снижения потерь воды и предотвращения подтопления территорий;

- в дамбах обвалования и основании отстойников и накопителей промышленных отходов – для обеспечения их устойчивости и для защиты поверхностных и подземных вод от загрязнения;

- с целью управления фильтрационными потоками в грунтах основания гидротехнических сооружений и для их защиты от неблагоприятных фильтрационных проявлений.

5.1.4 Противофильтрационный элемент, созданный с использованием местных полиминеральных глин, представляет собой траншейную «стену в грунте» в теле и/или основании плотины IV класса ответственности (при соответствующем обосновании и III класса ответственности), ограждающих сооружений отвалов и хранилищ жидких отходов (золохранилищ, хвостохранилищ и др.) – III и IV класса ответственности.

5.1.5 Эти конструкции могут выполняться как в новом строительстве, так и при реконструкции и ремонтах грунтовых сооружений, в том числе с

нарушенным или недостаточно эффективным существующим противофильтрационным элементом.

5.1.6 Создание ПФЭ в теле и основании плотин IV класса ответственности в виде траншейной «стены в грунте» с использованием местных полиминеральных глин следует вести после завершения ее строительства с гребневой части без постановки сооружения под напор.

5.1.7 Противофильтрационный элемент, созданный с использованием местных полиминеральных глин, должен быть врезан в водоупорный слой грунтового основания на глубину не менее 1 м.

5.2 Технология строительства траншейных «стен в грунте» с использованием МПГ

5.2.1 Суть способа «стена в грунте» в технологии создания траншейных противофильтрационных элементов ГТС – разработка траншеи под защитой тиксотропного глинистого раствора (ТР) в теле грунтового сооружения и/или его основании и замена вынутого грунта противофильтрационным материалом (ПФМ).

5.2.2 Сооружение траншейных стенок следует производить специализированными механизмами: грейферными или фрезерными. При устройстве противофильтрационных завес разработку грунтовых выработок в виде траншей также можно осуществлять специально переоборудованными (удлиненная рукоять, суженый ковш) общестроительными землеройными механизмами (экскаваторами), а также драглайнами.

5.2.3 В настоящем Стандарте рассматривается заполнение грунтовой выработки только нетвердеющим противофильтрационным материалом (комовой глиной).

5.2.4 Параметры ширины и глубины траншей при создании нетвердеющих траншейных стенок ограничиваются возможностями применяемых землеройных механизмов. Ширина выработок для создания противофильтрационного элемента с использованием местных полиминеральных глин должна быть в пределах от 0,4 до 1,2 м, глубина - от 4 до 35 м.

5.2.5 Основными условиями возможности создания грунтовой выработки для траншейной «стены в грунте» с использованием местных полиминеральных глин 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 инородных предметов (например, крупногабаритного строительного мусора), которые исключают возможность использования способа «стена в грунте»;

- наличие однородного водоупорного основания в основании возводимого сооружения.

5.2.6 Разработку траншеи следует производить под защитой тиксотропного глинистого раствора для удержания ее стенок от обрушения.

5.2.7 В качестве основы для приготовления глинистых растворов (глинистых суспензий), удерживающих стенки траншеи от обрушения при ее проходке, в подавляющем большинстве случаев используются дорогостоящие бентонитовые глины. Стоимость бентонитовых глин достигает 30-35% от стоимости сооружения противофильтрационного элемента. В связи с этим устройство протяженных (свыше 1 км) ПФЭ способом «стена в грунте» с использованием бентонитовых суспензий экономически нецелесообразно.

5.2.8 В настоящем Стандарте регламентируется комплексное использование местных полиминеральных глин в качестве замены бентонитовым глинам при сооружении протяженных ПФЭ, что позволит добиться значительного технико-экономического эффекта и расширить область применения способа «стена в грунте» в гидротехническом строительстве [1].

5.2.9 Комплексное использование МПГ в строительстве ПФЭ способом «стена в грунте» предусматривает разработку рецептур двух разных по свойствам и назначению материалов – тиксотропного раствора и противофильтрационного материала – из глинистых грунтов одного месторождения [2].

5.2.10 Комплексное использование МПГ в строительстве противофильтрационных элементов большой протяженности, создаваемых способом «стена в грунте», наиболее целесообразно и эффективно по следующим причинам [3, 4, 5]:

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

- создание ПФЭ 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, где обрушение стенок траншеи требует больших материальных и

временных затрат на устранение последствий. По этой же причине при освоении подземного пространства городов при проходке траншей должны безальтернативно использоваться тиксотропные растворы, приготовленные на основе бентонитовых глин;

- снижение стоимости строительства ПФЭ способом «стена в грунте» за счет замены привозных дорогостоящих дефицитных бентонитовых глин широко распространенными местными полиминеральными глинами.

5.2.11 Для разработки рецептур ТР и ПФМ на основе МПГ необходимо изучить следующие исходные данные о проектируемом объекте из отчета по инженерно-геологическим изысканиям [6]:

- наименование всех грунтов массива, в котором будет осуществляться проходка траншеи;
- уровень грунтовых вод;
- пористость грунтов, %;
- коэффициенты фильтрации каждого инженерно-геологического элемента, м/сут.

5.2.12 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.

5.2.13 Технология строительства ПФЭ способом «стена в грунте» с комплексным использованием местных полиминеральных глин (рисунок 5.1) состоит из трех основных этапов [7].

Первый этап - предварительная оценка качества МПГ, которая позволяет на стадии ТЭО по паспортным данным месторождения (карьера) оценить без проведения лабораторных исследований: затраты на транспортировку сырья; запасы глинистого сырья требуемого качества в конкретном месторождении (карьере), а также выдать заключение о целесообразности использования глин изучаемого карьера в технологии создания ПФЭ способом «стена в грунте».

Второй этап – подбор оптимальных рецептур ТР и ПФМ, приготовленных на основе МПГ, соответствующих требованиям к их качеству, и наиболее эффективных способов улучшения их технологических характеристик для обеспечения непрерывного технологического цикла создания ПФЭ способом «стена в грунте».

Третий этап – компоновка растворного узла и подбор оборудования для подготовки ПФМ с учетом результатов лабораторных исследований ТР и ПФМ и объемов их компонентов, используемых в технологическом процессе на стройплощадке.

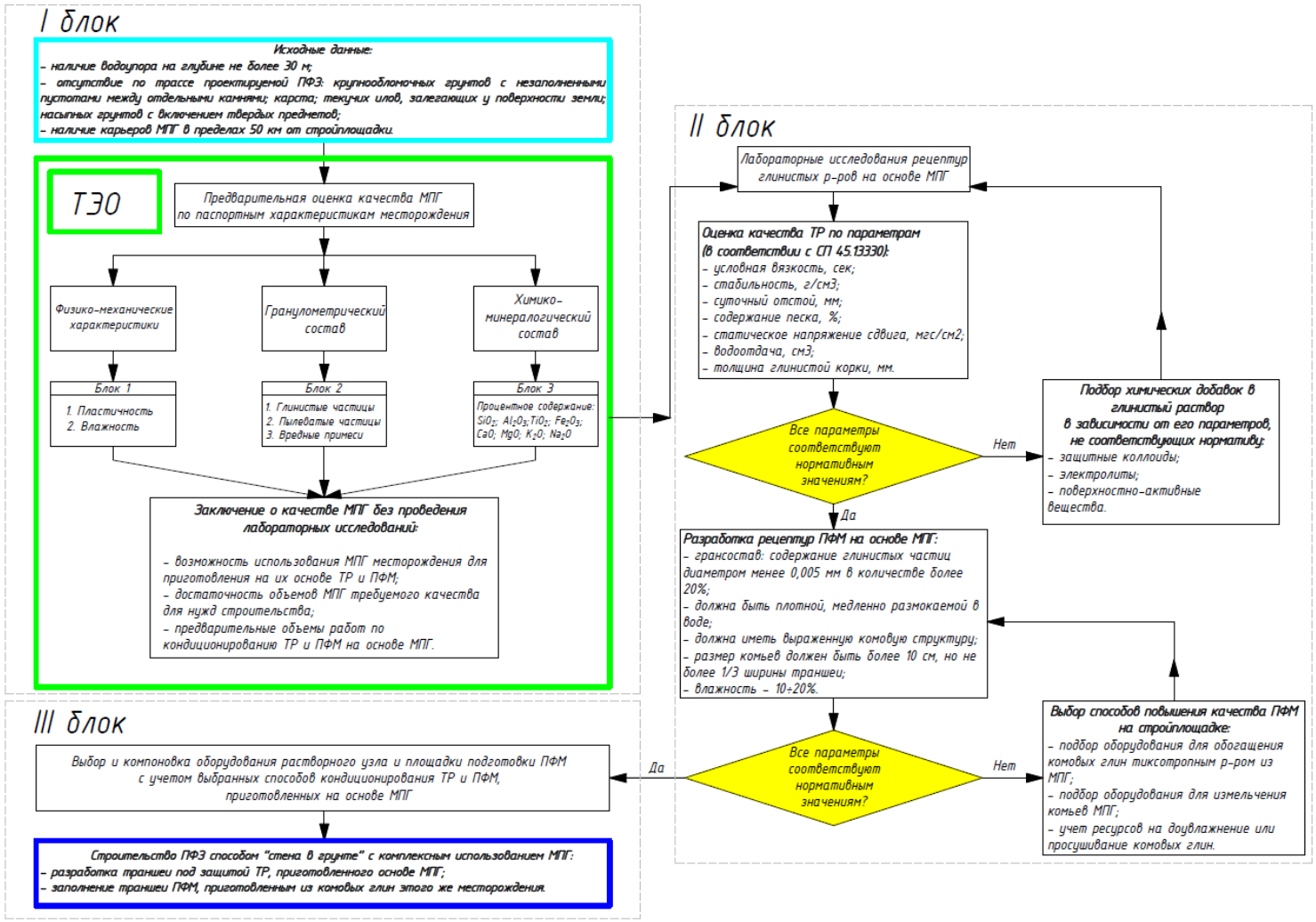


Рисунок 5.1 – Блок-схема технологии строительства противофильтрационных завес способом «стена в грунте», основанной на комплексном использовании местных полиминеральных глин

6 Предварительная оценка качества МПГ

6.1 Предварительная оценка качества МПГ (рисунок 6.1) предназначена:

- для предварительной оценки качества исходного глинистого сырья на стадии ТЭО – без проведения лабораторных исследований, на основе данных паспорта месторождения (карьера);

- для определения необходимости улучшения характеристик МПГ, ТР и ПФМ;

- для выдачи заключения о технико-экономической целесообразности использования МПГ конкретного месторождения (карьера) в технологии строительства ПФЭ способом «стена в грунте» в качестве сырья для приготовления ТР и ПФМ на конкретном объекте.

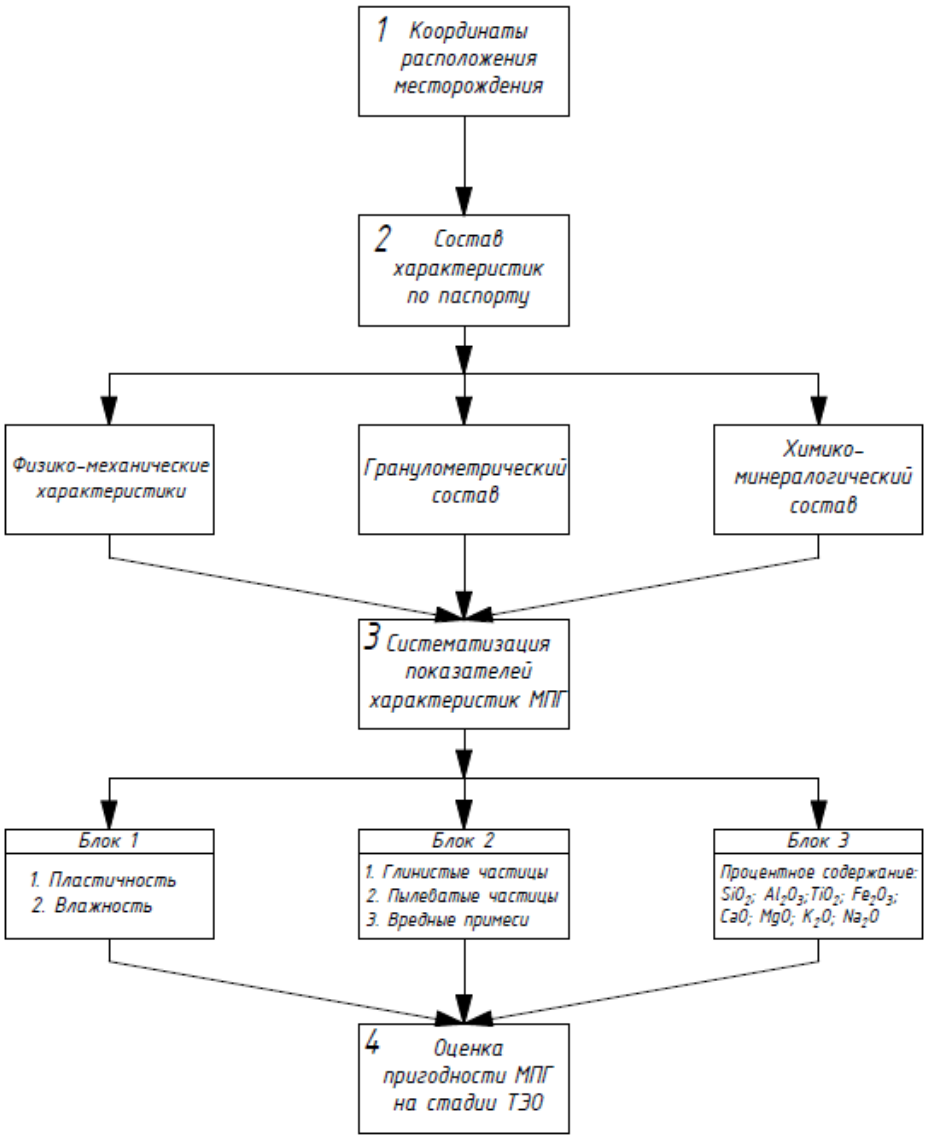


Рисунок 6.1 – Схема оценки качества глинистых грунтов по паспортным данным месторождения (карьера)

6.2 На первом этапе (позиция 1 на рисунке 6.1) проводится анализ общих сведений о месторождении (карьере) МПГ по его паспорту[1], который содержит в себе необходимую информацию:

- расположение месторождения (карьера) глинистого сырья по отношению к строительной площадке;
- степень промышленного освоения месторождения (карьера);
- возможность использования ж/д транспорта или автотранспорта для доставки сырья к строительной площадке;
- вид, тип, гранулометрический и минералогический состав, основные физические характеристики залегающих в месторождении глинистых грунтов;
- гидрогеологические условия залегания глинистых грунтов карьера;
- запасы качественного глинистого сырья.

6.3 На втором этапе (позиции 2 и 3 на рисунке 6.1) на основании данных из паспорта месторождения проводится оценка качества МПГ по расширенному перечню критериев, разделенных на три блока (таблица 6.1):

- физико-механические характеристики (число пластичности, влажность);
- гранулометрический состав (глинистые, пылеватые и крупные пылеватые частицы, мелкозернистые пылеватые пески, песок крупный);
- химико-минералогический состав согласно показателям, приведенным в блоке 3 таблицы 6.1.

6.3.1 Физические характеристики (блок 1 таблицы 6.1)

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

6.3.1.1 Число пластичности I_p (позиция 1.1, таблица 6.1). Нормативное значение числа пластичности местных полиминеральных глин для приготовления на их основе тиксотропных растворов в соответствии с СП 45.13330 должно составлять не менее 20%. При этом использование глин с числом пластичности от 17% до 20% допускается при соответствующем обосновании и после оценки качества глины по всем критериям, представленным в таблице 6.1.

[1] Паспорт месторождения запрашивается, например, через Российский федеральный геологический фонд; в администрации региона или у недропользователя

Таблица 6.1 – Критерии оценки качества глинистых грунтов по паспортным данным месторождения МПГ

Блок 1	**Физические 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. Число пластичности	%			≥ 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			≥ 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 глин**	**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 присущи 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	%			-		

6.3.1.2 Влажность (позиция 1.2, таблица 6.1). 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 комьев глин, которое чревато образованием сводов в траншее при ее заполнении и пустот под ними. Благодаря этому обеспечивается однородность и сплошность нетвердеющего ПФЭ после омоноличивания ПФМ.

6.3.2 Гранулометрический состав (блок 2 таблицы 6.1).

6.3.2.1 Содержание глинистых фракций (позиция 2.1, таблица 6.1). В классификации гранулометрического состава дисперсных пород за основной критерий качества принимается 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%. Нормативный процент содержания глинистых фракций в МПГ, определяющих их пригодность для использования в рецептурах ТР, должно составлять ≥ 40% в соответствии с СП 45.13330.

6.3.2.2 Вторая группа фракций (позиции 2.3, 2.4, 2.5, таблица 6.1), каждая из которых относится к категории примесей в составе глинистого грунта, снижающих технологические характеристики глинистого раствора, приготовленного на их основе:

- крупные пылеватые фракции – 0,05÷0,01 мм;

- мелкозернистые пылеватые пески – 0,1÷0,05 мм;

- крупный песок – 1,0÷0,5 мм.

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 гранулометрическом составе МПГ, предназначенных для приготовления ТР и ПФМ в технологии «стена в грунте», не должно превышать 15%.

6.3.2.3 Пылеватая фракция (позиция 2.2, таблица 6.1) размером 0,01÷0,005 мм – близкая по размеру к глинистым частицам – практически не влияет на качество ТР, занимая нейтральное положение. Находится во взвешенном состоянии в ТР. Содержание пылеватой фракции в гранулометрическом составе глинистого грунта, предполагаемого к использованию в рецептуре ТР, не должно превышать 30%.

6.3.3 Химико-минералогический состав (блок 3 таблицы 6.1).

В качестве дополнительных критериев для предварительной оценки качества глинистых грунтов служат показатели характеристик их химико-минералогического состава (позиции 3.1-3.8, таблица 6.1). 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 физических характеристик.

6.4 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;

- расходы на транспортировку МПГ на стройплощадку.

6.5 После предварительной оценки качества МПГ и выдачи положительного заключения о пригодности исследуемых МПГ производится отбор проб глинистого сырья из месторождения с целью:

- разработки на их основе оптимальных рецептур ТР и ПФМ;

- оценки объема работ по кондиционированию ТР и ПФМ, приготовленных на основе МПГ.

6.6 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 5 кг.

6.7 Отобранные пробы МПГ транспортируются в специализированную лабораторию, оборудованную для исследования качества ТР и ПФМ, в соответствии с методиками лабораторных исследований, изложенными в пп. 7.4 и 8.3 настоящего Стандарта.

7 Подбор оптимальных рецептур и способов кондиционирования глинистых растворов, приготовленных на основе местных полиминеральных глин

7.1 Область применения глинистых растворов из местных полиминеральных глин в строительстве ПФЭ способом «стена в грунте»

7.1.1 Основное назначение глинистых растворов, приготовленных на основе местных полиминеральных глин, при проходке траншеи сводится к следующим функциям:

- удержание стенок траншей от обрушения при их проходке за счет создания гидростатического давления, в каждой точке превышающего давление окружающего грунта и грунтовых вод;
- образование на стенках траншей плотной глинистой корки и закольматированного слоя, способных практически исключить фильтрацию в окружающий грунт;
- удержание выбуренной породы во взвешенном состоянии при прекращении циркуляции.

7.1.2 Раствор из местных полиминеральных глин используется в качестве компонента для приготовления противофильтрационного материала – комовые глины погружают в заполненную раствором траншею, в результате чего формируется слабоводопроницаемый ПФЭ.

7.1.3 Качество глинистого раствора, предназначенного для проходки траншей в сложных гидрогеологических условиях, необходимо проверить на опытно-производственном участке на строительной площадке путем выполнения опытной захватки «стены в грунте».

7.1.4 При длительных сроках нахождения раствора, приготовленного на основе МПГ, в траншее необходимо его перемешивать, например, сжатым воздухом.

7.1.5 Использование тиксотропных растворов из МПГ в строительстве ПФЭ гидротехнических сооружений способом «стена в грунте» может быть ограничено в следующих случаях:

- при высоком уровне грунтовых вод (УГВ ≤ 1 м от дневной поверхности) в сочетании со слабыми неустойчивыми грунтами траншейных стенок;

- при использовании для гидротранспорта разрабатываемого в траншее грунта эрлифта или насосов (при проходке траншей бурофрезерными агрегатами);

- при разработке глубоких траншей с длительными сроками возведения (заполнение траншеи), например, бетонных, железобетонных конструкций;

- в стесненных городских условиях (например, вблизи фундаментов домов), где в случае обрушения траншейной стенки восстановление ее невозможно, независимо от ее назначения и конструкции;

- наличие в грунтах сильноминерализованных грунтовых вод, содержащих соли кальция и магния в количестве, превышающем 200 мг/л. В таких случаях требуется применение растворов из палыгорскитовых глин.

7.2 Требования к глинистым растворам, приготовленным на основе местных полиминеральных глин

7.2.1 Эксплуатационные параметры глинистого раствора, приготовленного на основе МПГ, должны быть исследованы в лабораторных условиях в соответствии с методикой, изложенной в п. 7.4 настоящего Стандарта. В соответствии с п. 14.1.9 СП 45.13330 глинистые растворы, приготовленные на основе МПГ, должны удовлетворять следующим требованиям:

- плотность глинистого раствора определяет величину гидростатического давления на стенки траншеи. Растворы из местных полиминеральных глин проявляют тиксотропные свойства при значениях плотности от 1,15 до 1,25 г/см^3;

- условная вязкость, характеризующая подвижность глинистого раствора, а также его способность проникать в поры грунта, проявляя при этом кольматационные свойства, должна составлять от 18 до 30 секунд;

- показатель суточного отстоя воды на поверхности глинистого раствора, который является мерой структурообразующей способности ТР, не должен превышать 4%;

- нормативное значение показателя стабильности глинистого раствора, который характеризует способность ТР удерживать во взвешенном состоянии частицы разработанного грунта при проходке траншеи, должно составлять не более 0,02 г/см^3;

- содержание песка в глинистом растворе не должно превышать 4%;

- показатель водоотдачи, который характеризует способность глинистого раствора отдавать воду контактирующим породам, не должен превышать 30 см^3 за 30 мин;

- толщина глинистой корки должна быть не более 4 мм;

- нормативное значение показателя статического напряжения сдвига (СНС), который характеризует прочность структуры и тиксотропность раствора, должно находится в диапазоне от 18 до 50 мгс/см^2.

7.2.2 Повторное использование ТР из МПГ для основного его назначения в технологическом процессе проходки траншеи – для удержания ее стенок от обрушения – должно быть дополнительно обосновано, а система очистки ТР из МПГ для его повторного использования разрабатывается в виде отдельного проекта.

7.2.3 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^3; до 50 мгс/см^2; 18-50 с.

7.2.4 Для обеспечения нормативного качества ТР в соответствии с указанными выше эксплуатационными параметрами следует выполнить расчет объемов входящих в них компонентов с учетом условий приготовления и последующего использования ТР.

7.2.5 Необходимая плотность глинистого раствора $\rho_р$ определяется из условия предельного равновесия стенок траншеи по формуле (для примера приведен расчет при условии проходки траншеи в песках)

$$\rho_р = 1{,}1\ (\rho_г \cdot h_г \cdot \varepsilon_A + \rho_о \cdot h_з \cdot (1 - \psi \cdot \varepsilon_A))/\ h_р, \qquad (7.1)$$

где:

$\rho_г$ – плотность грунта, г/см^3;

$\rho_о$ – плотность воды, г/см^3;

$h_г$ – глубина траншеи, м;

$h_в$ – расстояние от дна траншеи до уровня грунтовых вол, м;

ε_A – функция угла внутреннего трения;

$\varepsilon_A = tg^2\ (45^o - \varphi/2)$;

$h_р$ – расстояние от дна до уровня заполнения траншеи раствором;

φ – угол внутреннего трения, град;

$\Psi = 1 - n$;

n – пористость грунта.

7.2.6 Плотность глинистого раствора считается достаточной, если на стенках траншеи образуется глинистый экран (глинистая корка) и исключается обрушение стенок траншеи при выполнении условия

$$t_{\rho\tau_0} > t_{0i} < t_3, \tag{7.2}$$

где:

$t_{\rho\tau_0}$ – время возможного начала вывала грунта из стенок траншей;

t_{0i} – время от начала разработки траншеи до заполнения ее противофильтрационным материалом;

t_3 – время образования на дне траншеи недопустимого по толщине осадка песка.

7.2.7 Время начала возможного вывала грунта из стенки траншеи определяется зависимостью

$$t_{\rho\tau_0} = 24{,}5 \cdot \frac{ln^{1,7}}{\omega}, \tag{7.3}$$

где:

ln – высота участка стенки траншеи, расположенного выше уровня грунтовых вод, м;

ω – площадь обводнения песка за 4 мин, см^2.

7.2.8 Продолжительность образования на дне траншеи недопустимого по толщине осадка песка в сутках можно определить по формуле

$$t_3 = \frac{\rho_n \cdot h_n}{864 \cdot \rho_р \cdot \delta \cdot V_м}, \tag{7.4}$$

где:

ρ_n – плотность песчаного осадка, обычно принимаемая равной 1,56 г/см^3;

h_n – толщина осадка песка, см;

$\rho_р$ – плотность глинистого раствора, г/см^3;

δ – содержание песчаных частиц, выпадающих из раствора в осадок, %;

$V_м$ – массовая скорость осажденного песка в данном глинистом растворе, определяемая экспериментально, см/с.

7.2.9 Продолжительность полного цикла выполнения технологических операций на захватке вычисляется по формуле

$$t_{0i} = \frac{К_1 \cdot К_2 \cdot F}{A \cdot C} \sum_{j=i}^{j=1} \frac{1}{n_j}, \tag{7.5}$$

где:

$К_1$ и $К_2$ – коэффициенты, учитывающие технологические перерывы в работе;

$К_1$ принимается по календарному графику ППР. $К_2$ учитывает снижение производительности механизмов, разрабатывающих траншею, в связи с повышением плотности раствора, приготовленного на основе местных полиминеральных глин, при $\rho_р$= 1,1 г/см^3. Коэффициент $К_2$ принимается в пределах 1,5÷2,3;

F – площадь вертикальной проекции в продольном направлении захватки, м^2;

A – количество смен работы механизмов на захватке;

C – количество часов работы механизмов в смену;

n_j – часовая эксплуатационная производительность механизмов, м^2/час.

7.2.10Количество глины, необходимое для приготовления раствора заданной плотности (таблица 7.1):

$$P_1 = \rho_г \cdot (\rho_р - \rho_о) \cdot (1+W); \quad (7.6)$$

$$P_2 = \rho_г \cdot (\rho_р - \rho_о) / (\rho_г - \rho_р), \quad (7.7)$$

где:

P_1 – вес глины на 1 м^3 раствора, т;

P_2 – вес глины на 1 м^3 воды, т;

$\rho_г$ – плотность глины, г/см^3;

$\rho_о$ – плотность воды, г/см^3;

$\rho_р$ – плотность раствора, г/см^3;

W – влажность глины, доли единицы.

7.2.11 При проходке траншей бурофрезерными агрегатами вращательного действия с гидротранспортом разрабатываемого грунта необходимо применять растворы из местных полиминеральных глин с минимально возможными для них плотностью, условной вязкостью и статическим напряжением сдвига.

7.2.12 Минимально возможные значения показателей плотности, условной вязкости и статического напряжения сдвига растворов из МПГ достигаются путем их обработки механическим способом (перемешивание), гидратации (предварительное замачивание) или путем их обработки химическими реагентами.

Таблица 7.1 – Расход МПГ и воды для приготовления 1 м^3 тиксотропного раствора

Составляющие компоненты раствора	Расход глины при концентрации раствора, вес %					
	15	20	25	30	35	40
	и плотности, г/см^3					
	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

7.3 Регулирование эксплуатационных параметров глинистых растворов, приготовленных на основе местных полиминеральных глин

7.3.1 Обработка МПГ для приготовления глинистых тиксотропных растворов в отличие от бентонитовых глин требует особого подхода, так как комовые глины МПГ, кроме глинистых частиц, содержат грубодисперсные

грунты с крупными включениями. Это обстоятельство необходимо учитывать при разработке технологической схемы обработки комовых глин и при выборе оборудования (глиномешалки, насосы, вибросита и т.д.).

7.3.2 Для приведения контролируемых эксплуатационных параметров глинистых растворов, перечень которых представлен в п. 7.2.1 настоящего Стандарта до нормативных значений, МПГ необходимо довести до высокой степени дисперсности. С этой целью применяют различные способы диспергации (механический, гидратационный и химический) глинистого раствора, приготовленного на основе МПГ.

7.3.3 Механический способ диспергации глинистого раствора заключается в длительной циркуляции жидкости в замкнутой системе смеситель – насос – емкость для накопления приготовленного раствора.

На первом этапе комовая глина предварительно перемешивается с помощью глиномешалки (например, МГ-2-4 или гидромониторные мешалки), после перемешивания удаляются крупные включения (крупнозернистый песок, мелкий гравий) и получается густая смесь – маточный раствор плотностью $\rho = 1{,}4 \div 1{,}5$ г/см^3.

Затем в полученный маточный раствор добавляются химические реагенты (в соответствии с рекомендациями, представленными в п. 14.1.10 СП 45.13330 и в пп. 7.3.5–7.3.12 настоящего Стандарта), и он перекачивается во фрезерно-струйную мельницу, в которой с помощью многократной циркуляции маточного раствора в замкнутой системе смеситель-насос-емкость с добавлением необходимого объема воды получается высокодисперсный тиксотропный раствор заданной плотности.

7.3.4 Гидратационный способ обработки (диспергации) используется для глинистых растворов, приготовленных на основе комовых глин, которые с трудом поддаются механической обработке. Способ заключается в замачивании комовых глин и их распускании в воде (100 вес. ед. глины на 50 вес. ед. воды). Этот способ диспергации основан на расклинивающем действии воды, отделяющем частицы твердого вещества друг от друга. Предварительное замачивание глины снижает водоотдачу и отстой воды глинистого раствора в 1,5-2 раза.

7.3.5 Химический способ обработки (диспергации) глинистых растворов состоит в добавлении в емкость с глинистым раствором химических реагентов в виде водного раствора, которые способствуют более быстрому разрушению агрегатов глинистых частиц.

7.3.6 Химический способ обработки является наиболее эффективным способом повышения качества глинистых растворов, приготовленных на

основе МПГ. Химические реагенты разделяются по их основному действию и назначению на три группы, исходя из их основного действия и назначения. К этим группам относятся:

- защитные коллоиды;
- электролиты;
- поверхностно-активные вещества.

7.3.7 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-понизители водоотдачи). В состав защитных коллоидов входят реагенты, которые снижают значение показателей условной вязкости и статического напряжения сдвига (понизители вязкости).

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.

7.3.8 При обработке растворов из МПГ электролитами происходят обменные процессы между ионами частиц глины и ионами электролитов. Использование электролитов наиболее эффективно для повышения стабилизации растворов (снижения водоотдачи), структурообразования и коагуляции.

Из группы электролитов наиболее эффективными применяемыми реагентами являются:

- кальцинированная сода – Na_2CO_3;
- каустическая сода – $NaOH$;
- силикат натрия (жидкое стекло) – Na_2SiO_3.

7.3.9 Поверхностно-активные вещества (ПАВ) – вещества, понижающие поверхностное натяжение на границе жидкость – твердое тело или газ. ПАВ целесообразно применять при проходке траншей в карбонатных породах.

К ПАВ относятся:

- дисолваны;
- нейтрализованный черный контакт (НЧК).

7.3.10 Для улучшения свойств глинистых растворов следует применять химические реагенты в соответствии с рекомендациями, представленными в п. 14.1.10 СП 45.13330 и в таблице 7.2 настоящего Стандарта. Наиболее универсальными реагентами являются кальцинированная сода и карбоксиметилцеллюлоза, которые улучшают общее качество глинистых растворов, совместимы с большинством видов химической обработки, а также служат для улучшения эксплуатационных параметров растворов, приготовляемого из МПГ практически всех видов.

7.3.11 Водный раствор нужной концентрации может готовиться заранее и храниться в специальных емкостях на стройплощадке. Состав и дозировка химических реагентов должны определяться в ходе лабораторных испытаний, исходя из фактических показателей качества глинистого грунта.

7.3.12 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.

Таблица 7.2 – Дозировки и допустимые сочетания химических реагентов

Химический реагент	% вносимого реагента от массы глины	Возможные сочетания (комплексные добавки)	Примечание
Защитные коллоиды:			
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	
Углещелочной реагент (УЩР)	5 - 8		
Торфощелочной реагент (ТЩР)	До 10		
Окисленный лигнин	5		
Сульфированный лигнин	0,1 - 0,5		

(Сунил)			
Электролиты:			
Кальцинированная сода Na_2CO_3	0,25 - 0,2		
Каустическая сода $NaOH$	0,015 - 0,05		
Жидкое стекло Na_2SiO_3	0,2 - 1,5		
Поваренная соль $NaCl$	1 - 1,5		
Известь $Ca(OH)_2$	0,05 - 0,1		
Гексаметафосфат	0,05 - 0,1		
Поверхностно-активные вещества (ПАВ):			
Дисолван	0,1 - 0,5		
Нейтрализованный черный контакт (НЧК)	3,0 - 2,5		

7.4 Методика лабораторных исследований глинистых растворов, приготовленных на основе местных полиминеральных глин

7.4.1 Объектом лабораторных исследований являются образцы глинистых растворов, приготовленных на основе отобранных из месторождения (карьера) проб МПГ, которые соответствуют критериям в соответствии с методикой предварительной оценка качества (см. Раздел 6).

7.4.2 Лабораторные исследования глинистых растворов, приготовленных на основе МПГ, выполняются:

- для установления пригодности к получению на их основе тиксотропных растворов;
- для определения эксплуатационных параметров растворов, значения которых не соответствуют нормативным;
- для разработки оптимальных рецептур тиксотропных растворов;
- для выбора оптимальных способов кондиционирования глинистых растворов.

7.4.3 Состав лабораторных испытаний должен быть назначен с учетом требований СП 45.13330.

7.4.4 Используемые при испытаниях инструменты и оборудование должны иметь свидетельства о поверках или калибровках. Номер свидетельства о поверке или калибровке указывается в протоколах

испытаний. Форма протокола испытаний приведена в Приложении А к настоящему Стандарту. Перечень основного используемого лабораторного оборудования приведен в таблице 7.3.

7.4.5 Исследование качества глинистых растворов выполняются в следующей последовательности:

- отбор в каждом исследуемом месторождении (каждого вида глины в рамках одного месторождения) проб местных полиминеральных глин для приготовления тиксотропных растворов должен осуществляться в соответствии с «ГОСТ 25795-83 Сырье глинистое в производстве глинопорошков для буровых растворов. Технические условия»;

- подготовка глинистых грунтов способом гидратации (замачивания) в 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÷1,5 г/см^3 (маточный раствор);

- приготовление из МПГ каждого исследуемого месторождения (каждого вида глины в рамках одного месторождения) глинистых растворов трех плотностей - 1,15 г/см^3, 1,20 г/см^3, 1,25 г/см^3;

- определение эксплуатационных параметров каждого из растворов в следующей последовательности:

  - плотность раствора, г/см^3;
  - содержание песка, %;
  - условная вязкость, сек;
  - стабильность, г/см^3;
  - водоотдача за 30 мин, см^3;
  - толщина глинистой корки, мм;
  - статическое напряжение сдвига через 10 мин, мгс/см^2.

- производится сравнительный анализ параметров глинистого раствора, полученных после обработки исходного глинистого сырья, с нормативными значениями эксплуатационных параметров в соответствии с СП 45.13330;

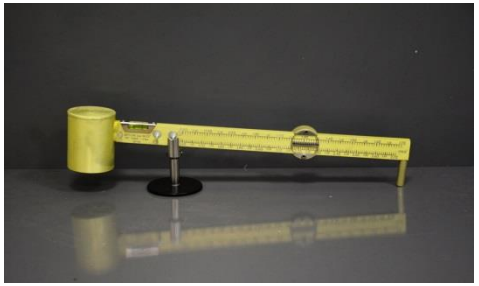
- в результате сравнительного анализа, выявляются показатели параметров, не соответствующие требованиям СП 45.13330;

- по эксплуатационным параметрам, значения которых не соответствуют нормативным требованиям, подбираются оптимальные способы обработки исходных МПГ и глинистых растворов на основе МПГ в соответствии с рекомендациями СП 45.13330 и п. 7.3 настоящего Стандарта;

- проведение контрольных замеров эксплуатационных параметров обработанных глинистых растворов и сравнение полученных значений с нормативными;

- цикл исследований повторяется до приведения всех эксплуатационных параметров к нормативным значениям, указанным в таблице 7.4.

Таблица 7.3 – Перечень оборудования для лабораторных исследований глинистых растворов, приготовленных на основе МПГ

			
Рычажные весы	Прибор ВМ-6	Воронка Марша	Прибор ЦС-2
			
Определение содержания песка	Вискозиметр ротационный	Лабораторная мешалка	Лабораторные весы

7.4.6 Методы испытаний

7.4.6.1 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. Вес каждой пробы – не менее 3 кг.

7.4.6.2 Вода для приготовления глинистого раствора должна быть пресной, иметь жесткость не более 12° и соответствовать требованиям ГОСТ 23732-2011 «Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия».

7.4.6.3 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^3). После тщательного растирания этой смеси в ступке ее переносят в лабораторную мешалку, добавляют оставшуюся часть воды и перемешивают в течение 20-30 минут;

- 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;

- количество глины, необходимое для приготовления раствора заданной плотности, определяется по формулам 7.6 и 7.7, а также по таблице 7.1 настоящего Стандарта.

7.4.6.4 Определение содержания песка (ISO 10414-1) определяется процентным содержанием (объемным содержанием) частиц с диаметром более 74 мкм. Содержание песка измеряется набором с ситом для песка.

Стеклянный измерительный цилиндр (с отметкой объема раствора и со шкалой от 0% до 20% для отсчета процентного содержания песка) наполняется глинистым раствором до отметки «раствор». Затем вода доливается в цилиндр до следующей отметки, после закрытия отверстия цилиндра его тщательно взбалтывают.

Смесь выливается на чистое влажное сито диаметром 63,5 мм, с ячейками размером 74 мкм; жидкость, прошедшая через сито, сливается. Доливается вода в цилиндр, его взбалтывают и выливают на сито. Эти действия повторяются до тех пор, пока цилиндр не очистится полностью. Затем песок, оставшийся на сите, промывается, чтобы удалить все остатки бурового раствора.

Далее перевернутая воронка ставится на сито. Конструкция переворачивается, и носик воронки вставляется в отверстие стеклянного измерительного цилиндра. Песок смывается в цилиндр тонкой струей воды. После оседания песка по шкале на цилиндре высчитывается процентное содержание песка в растворе.

7.4.6.5 Определение показателя условной вязкости глинистого раствора в соответствии с ISO 10414-1 вискозиметра Марша, представляющего собой конусообразную воронку длиной 305 мм, диаметром 15 мм и емкостью сетки 1500 мл. 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.

Условная вязкость (сек) тиксотропного раствора характеризует степень его подвижности и способность проникать в поры грунта. 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.

7.4.6.6 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 $см^3$, в котором на середине высоты имеется слив с пробкой. Показатель стабильности определяют как разность верхней и нижней половин пробы раствора, отстаивавшегося в течение суток.

7.4.6.7 Определение показателя прочности коагуляционной структуры глинистого раствора (статическое напряжение сдвига, $мгс/см^2$) в соответствии с ISO 10414-1 с помощью вискозиметра ротационного.

Этот эксплуатационный параметр ТР отражает прочность его коагуляционной структуры в статических условиях. Частицы, находясь в тиксотропном растворе меньшей плотности, чем они сами, удерживаются во взвешенном состоянии за счет пространственной структуры.

Глинистый раствор помещается в кольцевое пространство между двумя концентрическими цилиндрами. Наружный цилиндр, или ротор,

вращается с постоянной скоростью. Вращение ротора в растворе создает крутящий момент на внутреннем цилиндре. Торсионная пружина ограничивает движение боба, и шкала, присоединенная к бобу, показывает его смещение. Постоянные прибора следует установить таким образом, чтобы получать значения пластической вязкости и динамического напряжения сдвига при скорости вращения ротора 300 об/мин и 600 об/мин.

Необходимо поместить пробу глинистого раствора в контейнер и погрузить ротор точно до линии отметки.

При вращении ротора со скоростью 600 об/мин подождать, пока показание шкалы вискозиметра достигнет постоянного значения (необходимое для этого время зависит от характеристик глинистого раствора). Далее скорость ротора снижается до 300 об/мин и выжидается время, пока показание шкалы вискозиметра достигнет постоянного значения. Внести в отчет показание шкалы при 300 об/мин. Далее проба глинистого раствора перемешивается при скорости 600 об/мин в течение 10 секунд.

Затем проба глинистого раствора оставляется в покое на 10 минут. Далее медленно и равномерно ручной привод поворачивается в соответствующем направлении для получения положительных показаний шкалы. Максимальное показание шкалы через 10 минут – это показатель статического напряжения сдвига через 10 минут.

7.4.6.8 Определение показателей водоотдачи ($см^3$) и толщины глинистой корки (мм) глинистого раствора на приборе ВМ-6 (ISO 10414-1).

Оба показателя определяются на приборе ВМ-6 или на фильтр-прессе, основной деталью которого является цилиндрическая фильтровальная ячейка для глинистого раствора, с внутренним диаметром 76,2 мм и высотой не менее 64,0 мм.

Сначала необходимо поместить сухой градуированный цилиндр под дренажную трубку для сбора фильтрата, закрыть предохранительный клапан и установить регулятор на значение давления 690 кПа ±35 кПа не более чем за 30 с. Отсчет времени ведется от момента начала подачи давления.

Через 30 минут после начала испытания измеряется объем собранного фильтрата. Записать объем фильтрата в $см^3$.

Далее ячейка снимается со штатива, вынимается фильтровальная бумага, с минимальным нарушением образовавшейся глинистой корки, разбирается ячейка и сливается буровой раствор. Глинистая корка на фильтровальной бумаге промывается слабой струей воды, далее – измеряется ее толщина с точностью до мм.

7.4.6.9 Подбор химдобавок для улучшения свойств глинистых растворов из местных полиминеральных глин осуществляется на основе показателей параметров глинистых растворов, не соответствующих нормативным значениям в соответствии с требованиями СП 45.13330, таблица 14.3.

7.4.6.10 Оценка качества глинистых растворов осуществляется сравнением их качественных параметров с нормативными значениями эксплуатационных параметров, указанных в таблице 7.4. Количество проб и методы исследования также приведены в таблице 7.4.

7.4.7 В результате экспериментальных исследований будут получены оптимальные рецептуры тиксотропных растворов, приготовленных на основе местных полиминеральных глин.

7.4.8 Состав предъявляемой документации по итогам экспериментальных исследований - протоколы испытаний, содержащие данные об эксплуатационных параметрах тиксотропных растворов, приготовленных на основе местных полиминеральных глин. Форма протокола испытаний представлена в Приложении А к настоящему Стандарту.

Таблица 7.4 – Перечень исследуемых эксплуатационных параметров глинистых растворов и методы их исследования

№ п/п	Определяемый эксплуатационный параметр	Методика проведения испытания	Нормативное значение эксплуатационного параметра
1	2	3	4
1	Отбор проб МПГ	ГОСТ 25795-83	
2	Плотность раствора из МПГ	ISO 10414-1	1,10 ÷ 1,30 г/см^3
3	Содержание песка	ISO 10414-1	Не более 4%
4	Условная вязкость	ISO 10414-1	18 ÷ 30 сек

5	Стабильность глинистого раствора	Экспериментальная методика с учетом положений РД39-00147001-773-2004	Не более 0,02 г/см^3
6	Водоотдача	ISO 10414-1	Не более 30 см^3
7	Толщина глинистой корки	ISO 10414-1	Не более 4 мм
8	СНС статическое напряжение сдвига	ISO 10414-1	10 ÷ 50 мгс/см^2

8 Подбор оптимальных рецептур и способов кондиционирования противофильтрационных материалов из местных полиминеральных глин

8.1 Требования к глинистым грунтам (МПГ) в качестве материала-заполнителя (ПФМ) траншеи при строительстве способом «стена в грунте»

8.1.1 Траншея, разработанная под защитой глинистого тиксотропного раствора, заполняется комовой глиной (пластичный заполнитель), которая должна обладать необходимым качеством, обеспечивающим водонепроницаемость ПФЭ. Карьерная комовая глина (МПГ), используемая в качестве нетвердеющего материала для заполнения траншей, должна в процессе ее укладки в траншею отвечать следующим требованиям:

- содержать глинистые частицы диаметром менее 0,005 мм в количестве более 20% по массе;
- быть плотной и медленно размокаемой в воде;
- 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;
- влажность должна составлять 10÷20%, при этой влажности плотность комовой глины будет составлять ~1,4÷1,5 г/см^3 - при таком объемном весе комья глины легко погружаются в траншею, заполненную раствором, при ее заполнении ПФМ и не образуют сводов.

При отклонении свойств глины от указанных (быстрая размокаемость, мелкокомковатая или порошковая структура и др.) может происходить

зависание глины в растворе с образованием сводов, при этом нижняя часть траншеи останется незаполненной.

8.1.2 Противофильтрационный элемент для нормальной эксплуатации гидротехнического сооружения, в состав которого он входит, должен обладать заданной водонепроницаемостью, которая складывается из водонепроницаемости ПФМ и водонепроницаемости глинистой корки, зависящей от качества ТР и условий укладки ПФМ.

8.1.3 Глинистая корка, сформированная из тиксотропного раствора на основе МПГ на стенках траншеи, является дополнительным гидроизолирующим слоем, который позволяет гасить часть напора на стенку. Коэффициенты фильтрации глинистых корок, сформированных из тиксотропных растворов на основе МПГ, составляют в среднем $10^{-10} \div 10^{-11}$ м/сут.

8.1.4 Пригодность глинистых грунтов в качестве ПФМ должна обосновываться исследованиями, в ходе которых должны быть установлены фильтрационные и деформативные свойства тела ПФЭ, образуемого после консолидации комовой глины в траншее. В особо ответственных случаях пригодность глинистых грунтов в качестве ПФМ должна обосновываться на опытно-производственном участке на стройплощадке.

8.1.5 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.

8.1.6 Рекомендации по контролю качества ПФМ приведены в Разделе 11 настоящего Стандарта.

8.2 Способы повышения качества ПФМ, приготовленных на основе МПГ

8.2.1 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 глинистых грунтов (в том числе, суглинков) с более низким содержанием глинистых частиц тиксотропным раствором, приготовленным на основе более качественных МПГ того же месторождения. На стройплощадке подготовленные компоненты (ТР и комовые глины) по разработанной рецептуре ПФМ допустимо перемешивать навесными фрезами и дисковыми боронами. 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 подается на вибросито, отсеянные примеси подаются на транспортер и сбрасываются в отвал;
- частично очищенный раствор поступает на гидроциклонный шламоотделитель, 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-экономическим показателями, так как очистка загрязненных растворов является трудоемким и ресурсоемким технологическим процессом.

8.2.2 При необходимости эксплуатационные параметры материалов-заполнителей противофильтрационных элементов 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 нетвердеющих ПФЭ.

8.3 Методика лабораторных исследований ПФМ из МПГ

8.3.1 Местные полиминеральные глины, предполагаемые к использованию в строительстве ПФЭ способом «стена в грунте», должны быть исследованы в лабораторных условиях с помощью фильтрационно-суффозионных приборов.

8.3.2 Методика лабораторных испытаний на водопроницаемость местных полиминеральных глин имеет ряд особенностей, обусловленных:

- очень низкими коэффициентами фильтрации, значения которых обычно не превосходят 10^{-6} см/с и быстро (экспоненциально) уменьшаются в процессе уплотнения грунта;
- способностью глинистых грунтов приобретать агрегатную (комковатую) структуру, существенно влияющую на величину водопроницаемости и характер ее изменения в процессе уплотнения грунта;
- способностью многих глинистых грунтов набухать при замачивании или, наоборот, уплотняться (что характерно для так называемых просадочных лессовидных суглинков);
- относительно большими потенциалами капиллярного впитывания воды;
- зависимостью уплотняемости грунта (при заданной энергии уплотнения) и от его начальной влажности.

Здесь следует иметь в виду, что уплотнение связного грунта протекает в два этапа: на первом этапе происходит разрушение отдельных комьев и исчезновение вследствие этого наиболее крупных вторичных пор, а на втором - уменьшается объем первичной пористости. В случае, если начальная влажность грунта меньше оптимальной, энергия уплотнения затрачивается, главным образом, на разрушение комьев.

8.3.3 Отбор в каждом исследуемом месторождении (каждого вида глинистого грунта в рамках одного месторождения) проб МПГ для приготовления ПФМ должен осуществляться в соответствии с ГОСТ 25795-83. Отбирается не менее 3-х проб с помощью лабораторных весов. Вес каждой пробы – не менее 3 кг.

8.3.4 Образцы местных полиминеральных глин нарушенной структуры, отобранные в месторождении (карьере), помещают в фильтрационно-компрессионный прибор. Перед загрузкой образца в прибор необходимо сформировать образец методом трамбовки грунта в кольце.

Пример конструкции фильтрационно-компрессионного прибора приведен на рисунке 8.1, из которого видно, что испытываемый образец *4* загружают в корпус формы *5*, расположенный между нижней *1* и верхней *16*

и частями прибора, при необходимости герметизируют пристенный контакт предварительно размоченной глиной. Нижняя *1* и верхняя *16* части прибора соединены между собой стальными шпильками *11* подходящей длины, с помощью которых осуществляется плотная стыковка обеих частей с корпусом формы *5*, благодаря чему появляется возможность подавать по линии притока *14* под напором воду в нижнюю часть *1*, откуда она поступает в испытываемый грунт. С целью равномерного распределения потока воды по площади образца, а также для предотвращения продавливания грунта в отверстия решеток *2* и *6*, снизу и сверху образца рекомендуется укладывать фильтровальную бумагу и/или тонкую латунную сетку *3* с ячейками не более 0,05 см.

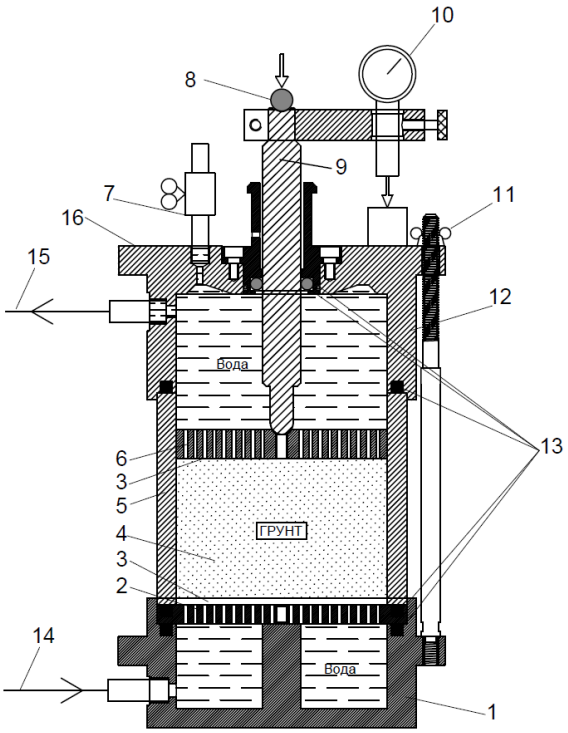


Рисунок 8.1 – Фильтрационно-компрессионный прибор

1 – нижняя часть прибора; 2 – нижняя решетка; 3 фильтровальная бумага и/или тонкая латунная сетка; 4 – образец грунта; 5 – корпус формы; 6 – верхняя решетка; 7 – кран для сброса воздуха; 8 – шарнир для распределения нагрузки; 9 – шток для передачи нагрузки от домкрата на образец; 10 – индикатор часового типа; 11 – стальные шпильки; 12 – верхняя часть прибора; 13 – уплотнительные кольца; 14 – линия притока; 15 – линия оттока; 16 – верхняя часть прибора

8.3.5 До начала испытаний прибор помещают в нагрузочное устройство, позволяющее создавать усилие, необходимое для его уплотнения. Осадку верхней решетки *6* фиксируют по показаниям индикатора часового типа *10* или другого устройства, фиксирующего перемещение. Стенд фильтрационно-компрессионного прибора, снабженного такими нагрузочными устройствами, показан на рисунке 8.2.

8.3.6 После окончания испытаний образца грунта следует определить его конечную влажность $W_к$, чтобы по ней вычислить коэффициент пористости $e_k = (\frac{\rho_s}{\rho_w}) \cdot W_к$, и таким образом дополнительно проконтролировать величину плотности грунта, вычисленную по осадке верхней решетки *6*, передающей на грунт *4* усилие от домкрата.

8.3.7 При весьма малых расходах фильтрации (Q <10^{-5} см/с) определять их удобно по понижению уровня в пьезометрической трубке, одновременно используемой в этом случае для создания напора воды. Так, если известен начальный напор воды в трубке H_0 и напор H_t через интервал времени t, то коэффициент фильтрации грунта

$$k = 2{,}3\left(\frac{\mathrm{d}_T}{D_k}\right)^2 \frac{T}{t} lg \frac{H_0}{H_t}, \quad (8.1)$$

где:

d_T – диаметр пьезометрической трубки;

D_k – диаметр поперечного сечения рабочей камеры прибора;

T – толщина образца грунта.



Рисунок 8.2 – Внешний вид стенда фильтрационно-компрессионного прибора с поворотным нагрузочным устройством

При понижениях уровня воды ко времени отсчета, не превышающих 0,05 H_0, коэффициент фильтрации можно вычислять, не считаясь с этим понижением, т.е. средний за данный интервал времени градиент напора, принимать $i_c = H_0/T$.

8.3.8 Определение коэффициента фильтрации должно быть выполнено при заданных градиентах напора, отличных от единичного. Для оценки суффозионной устойчивости грунта выполняют повышение градиента напора ступенями до его критического значения.

8.3.9 Расчет фильтрационной прочности противофильтрационного материала противофильтрационной завесы, создаваемой способом «стена в грунте» с использованием местных полиминеральных глин, должен производиться с учетом фильтрационных и деформативных свойств вмещающего грунта. При этом должно соблюдаться условие:

$$I < I_д, \tag{8.2}$$

где:

I – градиент напора на завесе, определенный расчетом;

$I_д$ – допустимый градиент напора, который принимается по таблице 14.8 СП 45.13330 и для комовой глины равен 30.

8.3.10 Согласно СП 23.13330.2018 и СП 39.13330.2012 фильтрационный расчет оснований и грунтовых плотин (дамб) при устройстве ПФЭ из МПГ должен заключаться в определении фильтрационной прочности грунтов тела и основания гидротехнического сооружения, при которой обеспечиваются их надежность в период эксплуатации и экономичность строительства сооружения.

8.3.11 Критериальное условие обеспечения общей фильтрационной прочности грунтовой плотины и грунтового основания имеет следующий вид:

$$J_{est,m} < \frac{J_{cr,m}}{\gamma_n}, \tag{8.3}$$

где:

$J_{cr.m}$ – критический средний градиент напора в плотине или основании, значения которого нормированы СП 39.13330.2012, СП 23.13330.2018; γn – коэффициент надежности по степени ответственности сооружения, принимается в соответствии с СП 58.13330.2019;

$J_{est,m}$ – действующий градиент напора.

8.3.12 Общая фильтрационная прочность грунтов тела плотины не будет нарушена при выполнении условия (8.3).

Значение $J_{est,m}$ должно быть определено согласно формуле (8.4) аналитически с использованием гидродинамической сетки или получено по результатам численного моделирования:

$$J_{est,m} = \frac{z}{l}, \tag{8.4}$$

где:

z – напор, действующий на сооружение;

l – длина пути фильтрационного потока.

Значение $J_{cr,m}$ для ПФМ, приготовленного на основе МПГ, в теле плотины (дамбы) принимается по данным лабораторных исследований, а также с учетом таблицы 8 СП 39.13330.2012.

8.3.13 Общая фильтрационная прочность грунтов основания плотины оценивается в соответствии с требованиями СП 23.13330.2018. Общая фильтрационная прочность основания не будет нарушена при выполнении условия (8.3).

Общую фильтрационную прочность грунтов основания следует оценивать, сопоставляя полученные в результате моделирования значения $J_{est,m}$ с критическими значениями градиента напора $J_{cr,m}$.

8.3.14 В результате экспериментальных исследований будут получены оптимальные рецептуры ПФМ, приготовленных на основе МПГ.

8.3.15 Состав предъявляемой документации по итогам экспериментальных исследований - протоколы испытаний, содержащие данные об эксплуатационных параметрах тиксотропных растворов, приготовленных на основе местных полиминеральных глин. Форма протокола испытаний представлена в Приложении А к настоящему Стандарту.

9 Технологическая схема создания ПФЭ способом «стена в грунте» с комплексным использованием местных полиминеральных глин

9.1 Компоновка растворного узла

9.1.1 Для приготовления глинистого раствора, его хранения и подачи в траншею в процессе проходки организуются глинистые хозяйства. В их состав включается следующие виды оборудования:

- 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.

9.1.2 Растворный узел должен обеспечивать сменный объем глинистого раствора с учетом неравномерности проходки траншеи, приготовления и его подачи в траншею.

9.1.3 Для приготовления глинистого раствора из комовых МПГ используются механические смесители, двухвальные глиномешалки или высокопроизводительные фрезерно-струйные мельницы.

9.1.4 Для подачи раствора в траншею используются грязевые насосы, а также центробежные насосы.

9.1.5 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.

9.1.6 Отделение песчаных примесей от глинистого раствора осуществляется на виброситах или в ситогидроциклонных установках.

9.1.7 В состав технологической линии для приготовления тиксотропных растворов можно включать дополнительные технологические емкости в случае необходимости обработки ТР гидратационным способом:

- емкость для предварительного замачивания глин (100 вес. ед. глины на 50 вес. ед. воды);

- емкость для хранения комовой глины, доведенной до состояния густого однородного теста после замачивания.

9.1.8 Продолжительность размешивания глины и воды в мешалках рекомендуется ППР и уточняется в процессе производства работ на строительной площадке.

9.1.9 Порядок введения химических реагентов для улучшения эксплуатационных параметров глинистого раствора должен быть предусмотрен проектом производства работ.

9.1.10 Для подачи растворов в траншею рекомендуется применять грязевые и центробежные насосы.

9.1.11 Расход тиксотропного раствора из МПГ на 1 м^2 стенки в грунте рекомендуется в ППР на основе расчета, который учитывает возможность его потерь.

9.1.12 Подача раствора от растворного узла осуществляется по трубопроводам диаметром не менее 100 мм, смонтированным вдоль трассы траншеи. Трубопроводы наращиваются по мере проходки траншеи.

9.1.13 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.

9.1.14 При отрицательной температуре наружного воздуха необходимо принять меры для предотвращения замерзания раствора. Растворный узел должен быть размещен в утепленном помещении, а трубопроводы должны быть защищены от промерзания. Температура воды, используемой для приготовления глинистого раствора в зимних условиях, должна быть 10÷50˚С.

9.2 Технологическая схема приготовления ТР и комплексного использования МПГ в создании ПФЭ способом «стена в грунте»

9.2.1 Технологический процесс приготовления ТР и ПФМ на стройплощадке осуществляется одновременно, и эти процессы взаимосвязаны. На рисунке 9.1 показана последовательность и синхронность технологического процесса приготовления ТР на растворном узле (поз. 1-6, рисунок 9.1) из комовых глин с постоянной его подачей по трубе (поз. 7, рисунок 9.1) и в зону проходки траншеи (например, грейфером), и на площадку подготовки ПФМ из тех же МПГ, которые подвозятся автотранспортом (позиция 10, рисунок 9.1).

9.2.2 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 9.1).

9.2.3 Процесс приготовления ТР на технологической линии начинается с подачи комовой глины транспортером со склада МПГ (поз. 1, рисунок 9.1) к месту установки глиномешалки (например, МГ2-4 или Г-2-П2-4,0) (поз. 2, рисунок 9.1). Обработка глинистого грунта на этом типе мешалки позволяет избавиться от крупных включений в его составе. Далее используются мешалки для более тонкой обработки.

9.2.4 Глиномешалка заливается наполовину водой, затем для смягчения воды по расчету вносят кальцинированную соду или натрий фосфат. После добавления в глиномешалку МПГ размешивание глины и

воды в двухвальной глиномешалке производится 30-40 минут (в одновальной – 60-80 мин) при скорости вращения до 60 об/мин.

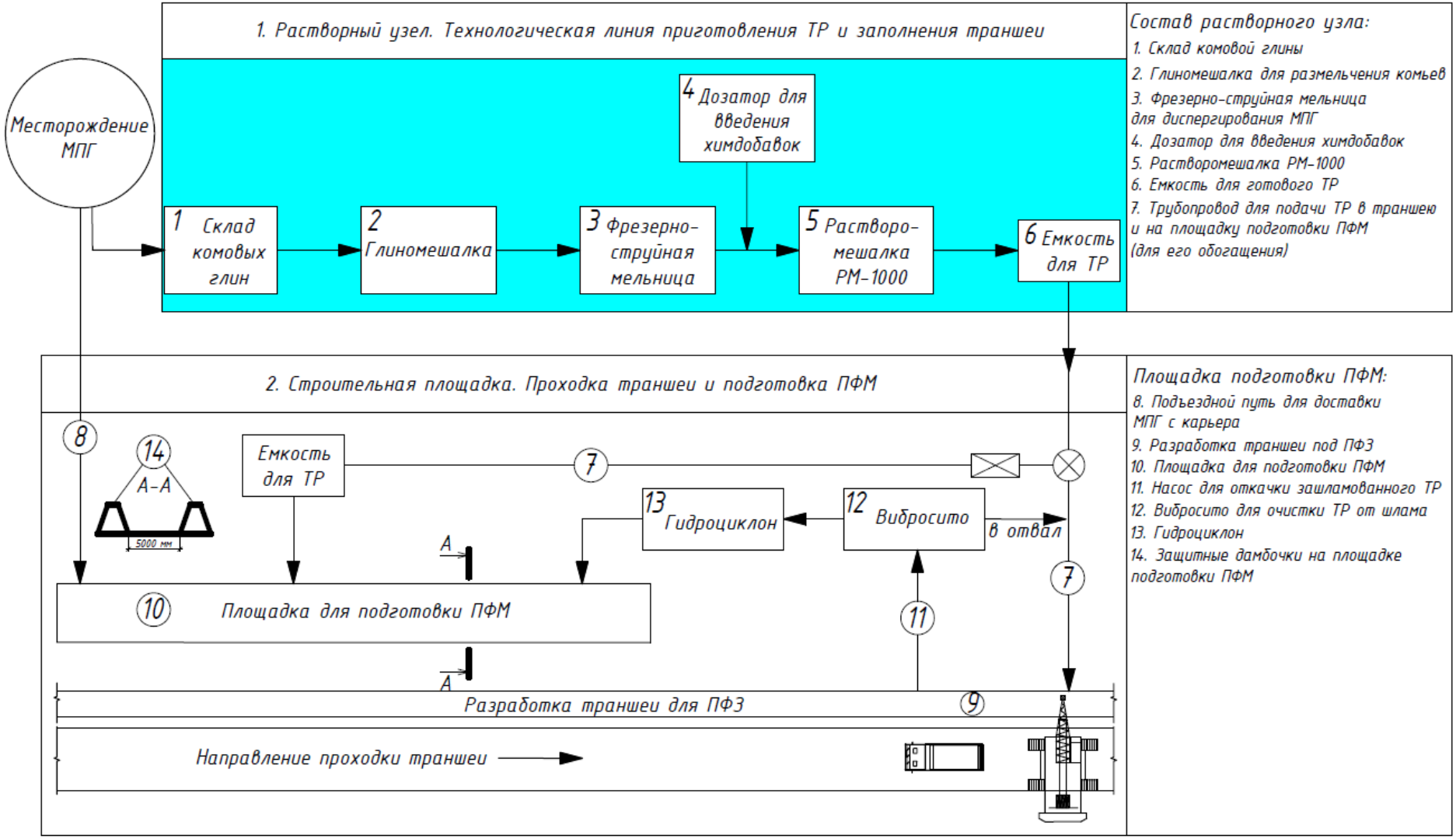


Рисунок 9.1 – Технологическая схема строительства противофильтрационной завесы способом «стена в грунте на основе комплексного использования МПГ

9.2.5 Для более тонкой обработки (дополнительного диспергирования) используются фрезерно-струйные мельницы (поз.3, рисунок 9.1). При таком разделении в ходе обработки комовых глин появляется возможность готовить густые растворы (маточные растворы).

9.2.6 Затем в процессе дальнейшей диспергации и введения концентрированного раствора химдобавки (поз. 4, рисунок 9.1), который подается в растворомешалку РМ 750÷1500 л (поз. 5, рисунок 9.1), глинистый раствор разводится водой и доводится до нужной концентрации (плотности).

9.2.7 После внесения подобранных в ходе исследований химических добавок размешивание раствора продолжается еще 10-15 мин. После доведения до расчетной концентрации полученный тиксотропный раствор перемешивается в растворомешалке еще 20-25 мин.

9.2.8 После приготовления ТР заданной плотности в растворомешалке РМ они подвергаются контролю качества, после чего приготовленный раствор перекачивается в накопительную емкость (поз. 6, рисунок 9.1). Накопительная емкость объемом ~20 $м^3$ оснащена перемешивающим устройством, которое работает постоянно, поддерживая постоянный показатель плотности ТР по высоте накопительной емкости. В зависимости от суточной потребности ТР в процессе создания ПФЭ могут устанавливаться дополнительные накопительные емкости.

9.2.9 Тиксотропный раствор из накопительной емкости поступает по трубопроводу (поз. 7, рисунок 9.1) 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 бурофрезерными агрегатами.

9.2.10 Вторым потребителем ТР является площадка для подготовки и повышения качества ПФМ (поз. 10, рисунок 9.1). Площадка подготовки ПФМ расположена вдоль траншеи (поз. 9, рисунок 9.1) на расстоянии, которое исключает влияние нагрузки от комовых глин на устойчивость стенок траншеи. Ширина площадки – 5 м (поз. 10, рисунок 9.1).

Подготовка комовых глин перед заполнением траншеи заключается в измельчении комьев глин до размеров не более 20 см дискованием и при необходимости – в обогащении комовых глин тиксотропным раствором, поступающим из емкости (поз. 6, рисунок 9.1) по трубопроводу (поз. 7, рисунок 9.1) на площадку для подготовки ПФМ (поз. 10, рисунок 9.1).

На площадке создается запас противофильтрационных материалов на 3 дня двухсменной работы по созданию ПФЭ.

10 Конструктивные решения для создания протяженных ПФЭ способом «стена в грунте» с использованием местных полиминеральных глин

10.1 Общие положения

10.1.1 Сооружение протяженных ПФЭ способом «стена в грунте» для инженерно-экологической защиты территорий, примыкающих к объектам накопленного экологического вреда, сопряжено с работами на открытых площадках со сложным рельефом, практически на пересеченной местности, где уклон поверхности земли зачастую превышает нормативные 3˚ и где есть необходимость создания водонепроницаемого сопряжения ПФЭ, сооружаемых на разновысотных отметках (с перепадом более 5 м). Реализация традиционных конструктивных решений на участках с такими особенностями рельефа местности связано со значительным увеличением объемов земляных работ (подсыпка больших объемов грунта) при вертикальной планировке поверхности трассы завесы.

10.1.2 Для устранения этих проблем рекомендуется использовать технические решения: «Каскадный способ создания противофильтрационной завесы (ПФЗ), сооружаемой способом «стена в грунте» (п. 10.2) на откосе с уклоном более 3˚» и «Способ создания ПФЗ на площадке с разновысокими отметками методом «стена в грунте»» (п. 10.3).

10.2 Каскадный способ создания противофильтрационного элемента

10.2.1 Каскадный способ [9] упрощает технологию устройства ПФЭ в виде траншейной «стены в грунте» на трассе с уклоном свыше нормативных 3˚ за счет вертикальной планировки в пределах каждого блока (захватки) отдельно. 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 (рисунок 10.1) на нечетных блоках с указанием их номеров.

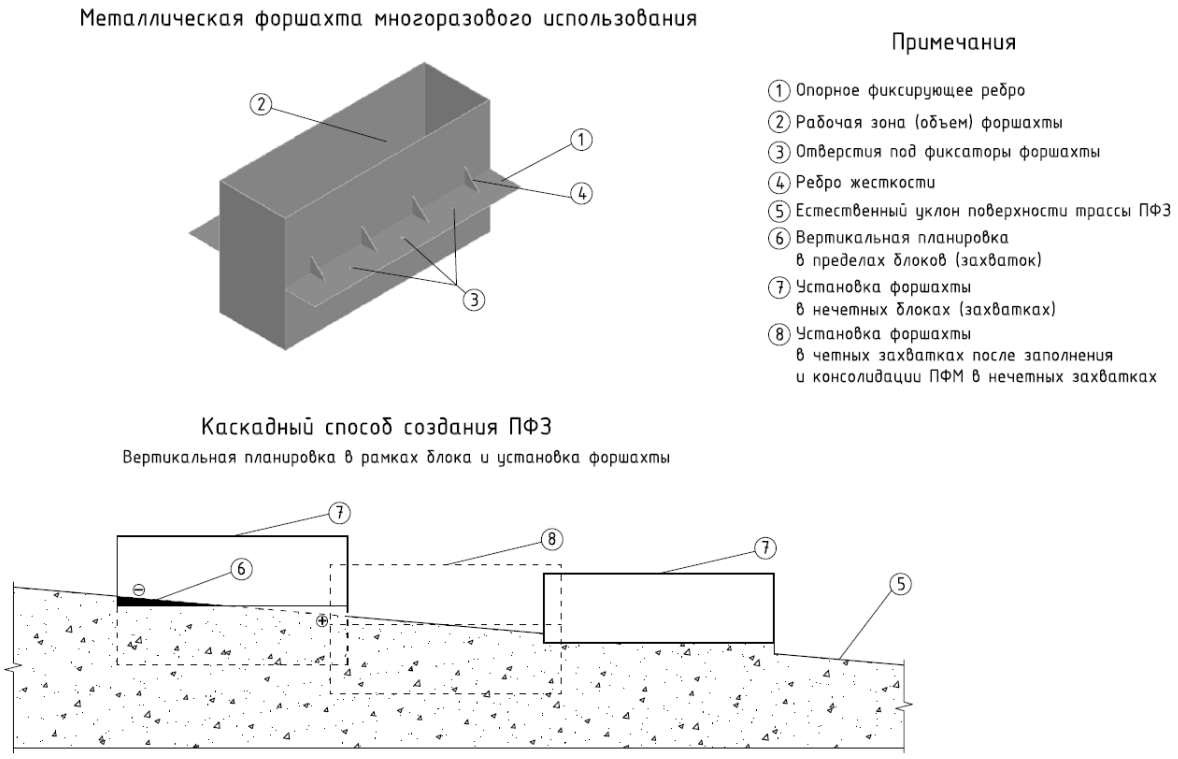


Рисунок 10.1 – Каскадный способ создания ПФЗ. Вертикальная планировка и форшахта многоразового использования

10.2.2 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 подземных вод не менее 2,0 м.

10.2.3 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.

10.2.4 Сооружение ПФЭ в виде траншейной «стены в грунте» по новой технологии (рисунок 10.2) производится способом чередующихся блоков - сначала осуществляется проходка нечетных блоков траншеи, а затем – четных блоков путем разработки грунтовых целиков, оставленных между нечетными блоками.

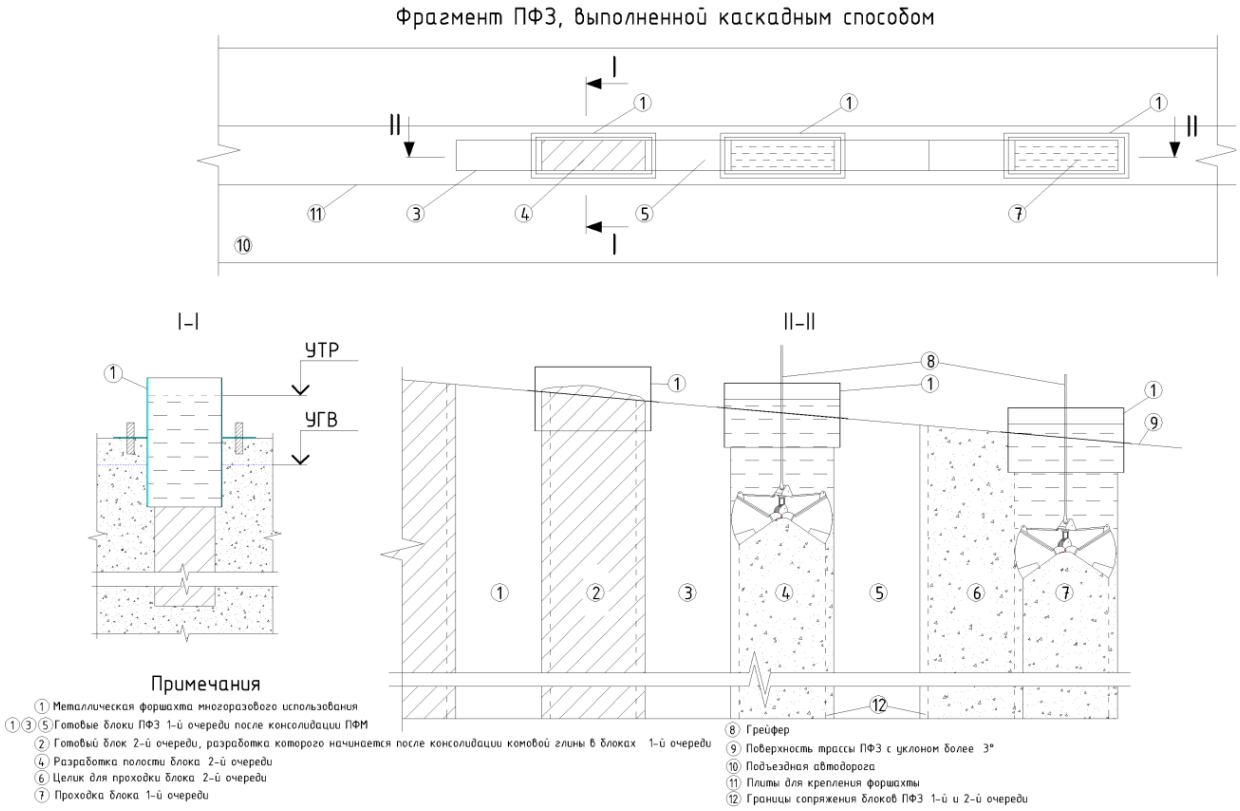


Рисунок 10.2 – Технологическая карта создания ПФЗ каскадным способом при уклоне трассы более 3˚ или высоком уровне грунтовых вод

10.2.5 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.

10.2.6 После очистки дна выработки от слоя шлама, образовавшегося во время ее проходки, траншея заполняется противофильтрационным материалом (ПФМ) – карьерной комовой глиной до отметки, на 0,3 м превышающей отметки поверхности земли (рисунок 10.2).

10.2.7 После завершения процесса омоноличивания 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 ≈ 2,5 м).

10.2.8 Технология проходки четных блоков траншеи и их заполнение ПФМ из комовых глин в точности повторяет технологию проходки и заполнения нечетных блоков.

10.2.9 Проходка и заполнение блоков (захваток) завесы второй очереди начинается через 2-3 недели после заполнения блоков (захваток)

первой очереди. Блоки 2-й очереди траншеи после их проходки заполняются комовыми глинами с помощью грейфера или экскаватора.

10.3 Создание водонепроницаемого сопряжения противофильтрационных завес, сооружаемых методом «стена в грунте» на площадке с разновысокими отметками

10.3.1 Технологический процесс создания сопряжения ПФЗ, сооружаемых на площадке со значительным перепадом высот, состоит из трех этапов. На первом этапе на условной нижней отметке -5,00 м (рисунок 10.3) сооружается ПФЗ способом чередующихся блоков - под защитой тиксотропного раствора, приготовленного из МПГ, осуществляется разработка блоков (захваток) траншеи, после чего они заполняются противофильтрационным материалом (комовой глиной того же карьера) [8].

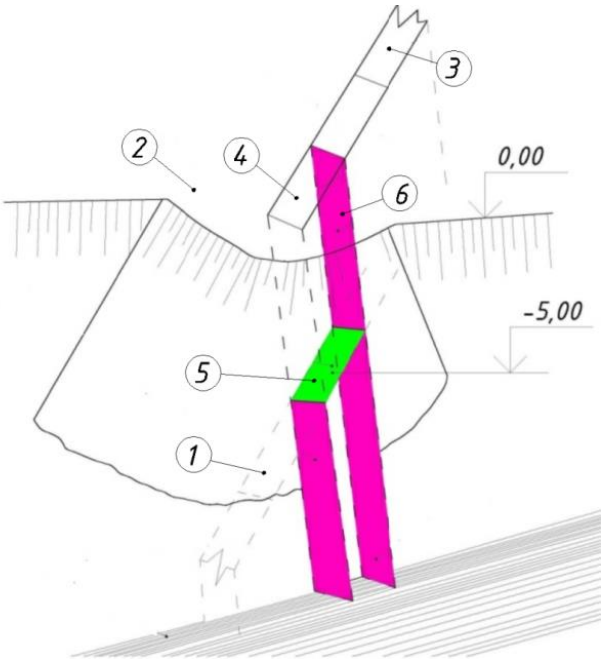


Рисунок 10.3 – Сопряжение захваток ПФЗ на площадке с разновысокими отметками

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

10.3.2 После завершения процесса омоноличивания 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 10.4).

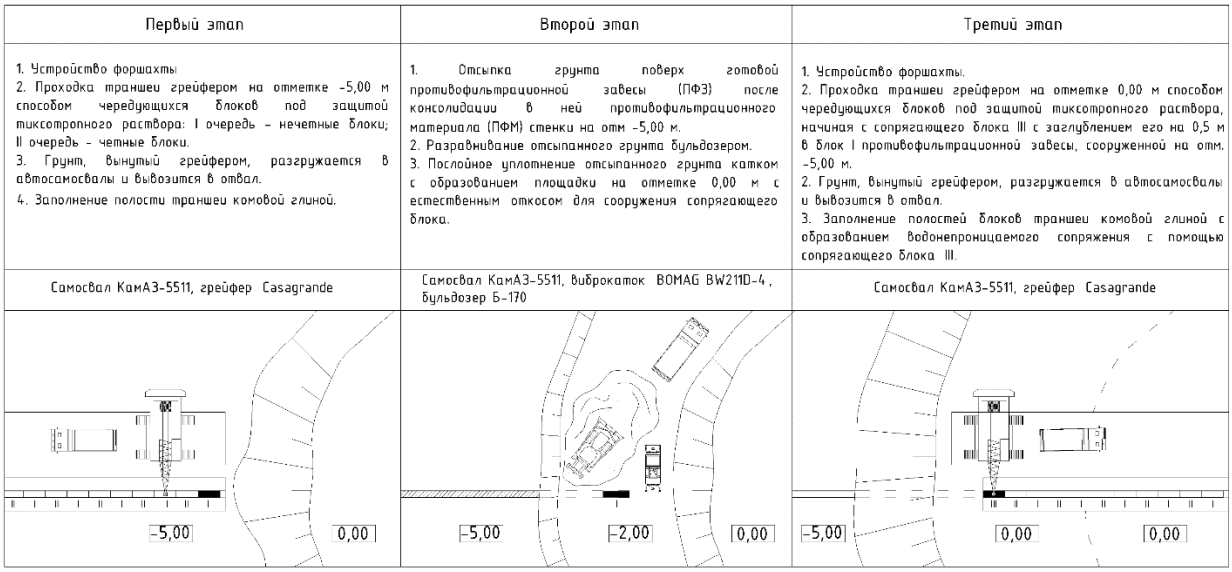


Рисунок 10.4 – Технологическая карта создания ПФЗ способом «стена в грунте» на площадке со сложным рельефом

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

10.3.4 На третьем этапе на гребне насыпи (отметка 0,00 м) способом чередующихся блоков сооружается сопрягающая завеса. Сначала сооружается сопрягающий блок (поз. 4 на рисунке 10.3) - грейфером отрывается траншея до отметки -5,50 м, которая заполняется комовой глиной по методике комплексного использования МПГ.

10.3.5 После заполнения сопрягающего блока траншеи противофильтрационным материалом создается водонепроницаемое сопряжение между противофильтрационными завесами, сооруженными на отметках -5,00 м и 0,00 м, в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Далее поочередно сооружаются остальные блоки ПФЗ на отметке 0,00 м (рисунки 10.3 и 10.4).

11 Контроль качества ПФЭ, создаваемого способом «стена в грунте» с использованием МПГ

11.1 Контроль качества растворов, приготовленных на основе местных полиминеральных глин

11.1.1 Контроль качества растворов из МПГ должен осуществляться непосредственным исполнителем в процессе его приготовления на растворном узле и в процессе проходки траншеи.

11.1.2 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 противофильтрационным материалом, а также после перерыва в работе более 1 суток.

11.1.3 Пробы из траншеи рекомендуется отбирать пробоотборником (например, ПГР-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.

11.1.4 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.

11.1.5 В процессе разработки траншеи необходимо следить за уровнем глинистого раствора в траншее в соответствии с требованиями п. 14.1 СП 45.13330 и проверять качество раствора, находящегося в траншее, с помощью приборов лаборатории ЛГР-3.

11.1.6 Приборы ЛГР-3 соответствуют РД39-00147001-773-2004 «Методика контроля буровых растворов». Сертификация приборов ЛГР-3 не предусмотрена.

11.1.7 В процессе приготовления раствора на растворном узле контролируются эксплуатационные параметры глинистого раствора, перечень и нормативные значения которых представлены в таблице 14.2 СП 45.13330:

- плотность - 1,10 ÷ 1,30 г/см^3 (определяется ареометром АГ-2 в составе лаборатории ЛГР-3);
- условная вязкость – 18÷30 сек (вискозиметр СПВ-5);
- водоотдача за 30 мин – не более 30 см^3 (прибор ВМ-6);
- суточный отстой воды – не более 4% (мерный цилиндр);
- содержание песка – не более 4% (отстойник ОМ-2);
- стабильность – не более 0,02 г/см^3 (цилиндр ЦС-2);
- толщина глинистой корки – не более 4 мм (прибор ВМ-6);
- статическое напряжение сдвига через 10 мин после перемешивания - 10÷50 мгс/см^2 (СНС-2).

11.1.8 На всех этапах контроля качества растворов от его приготовления до использования при проходке траншеи необходимо вести журнал контроля качества глинистых растворов.

11.2 Контроль качества ПФМ, приготовленных на основе местных полиминеральных глин

11.2.1 Характеристики ПФМ (плотность, коэффициент фильтрации) должны контролироваться путем отбора образцов из тела ПФЭ и их испытания в лабораторных условиях из расчета 30 проб на 1000 м ПФЭ.

11.2.2 Контроль качества укладки материала заполнения в противофильтрационную завесу должны осуществлять путем определения его плотности и влажности через каждые 20-25 м их длины, например, с использованием радиоизотопного метода в соответствии с ГОСТ 23061.

11.3 Контроль эффективности ПФЭ, созданного способом «стена в грунте» с использованием МПГ

11.3.1 Для мониторинга фильтрационной прочности ПФЭ гидротехнических сооружений, созданных способом «стена в грунте» с использованием МПГ, наиболее применяемыми являются косвенные способы, которые основываются на контроле фильтрационного потока и положения кривой депрессии в теле грунтовых дамб с помощью пьезометров, датчиков порового давления, датчиков напряжений и расходов воды в дренажах грунтовых дамб.

11.3.2 Основным недостатком контроля фильтрационной прочности ПФЭ грунтовых плотин (ограждающих дамб) с помощью традиционной КИА является невозможность оценить состояние ПФЭ на большей части его площади. Информация о фильтрационном режиме в теле и ПФЭ сооружения фиксируется только в точках установки фильтрационной контрольно-измерительной аппаратуры. Расстояния между створами фильтрационных наблюдений устанавливаются в проекте и могут достигать 100 и более метров. При высокой проницаемости грунтов низовой призмы плотины определение мест нарушения фильтрационной прочности ПФЭ по данным КИА особенно сложно.

11.3.3 В настоящее время могут быть предложены способы, позволяющие оценить фильтрационную прочность ПФЭ с гораздо большей частотой по его площади (до 1-2 м):

- геофизические исследования (электротомография);
- волоконно-оптическая контрольно-измерительная аппаратура;

11.3.4 Предложения по совершенствованию системы мониторинга фильтрационного состояния гидротехнических сооружений с ПФЭ, созданного с использованием местных полиминеральных глин, приведены в таблице 11.1.

Таблица 11.1 – Предложения по совершенствованию системы мониторинга фильтрационного состояния гидротехнических сооружений с ПФЭ, созданного с использованием местных полиминеральных глин

№ п/п	Методы контроля	Измеряемый параметр	Решаемая задача	Примечание
1	Геофизический метод – наведенное поле	Электрическое сопротивление	Определение местоположения протечки в ПФЭ	Может быть применен как с устройством постоянной оборудованной сети электродов и наблюдательных скважин, так и по временной схеме
2	Оптоволоконная технология	Температура окружающей среды	Определение местоположения протечки в ПФЭ и количества фильтрующейся воды	Устройство возможно только в процессе возведения плотины (дамбы)

11.4 Мониторинг фильтрационной прочности ПФЭ методом электротомографии

11.4.1 Для мониторинга фильтрационной прочности ПФЭ гидротехнического сооружения, созданного способом «стена в грунте» с использованием местных полиминеральных глин, целесообразно создать наблюдательную сеть на основе метода электрометрии с использованием томографической системы наблюдения.

11.4.2 Для разработки проекта системы мониторинга геофильтрационного состояния гидротехнического сооружения требуется изготовление физической модели плотины в лабораторных условиях. Физические модели выполняются в масштабе (например, 1:100), ПФЭ создается из местных полиминеральных глин выбранного карьера. На модели выполняется цикл измерений методом электротомографии в условиях моделирования отсутствия и наличия фильтрации в теле гидротехнического сооружения. Физическая модель позволяет получить исходные данные по определению параметров наблюдательной сети: шага наблюдений, типа установок измерений и их информативности, способов компоновки отдельных частей измерительных кос, размещения пункта сбора общей информации по всем профилям наблюдений.

На рисунке 11.1 приведен вид лабораторной модели с ПФЭ из водонепроницаемого материала (на фото: ПФЭ из глины), а также пример

определения местоположения фильтрационной протечки в ПФЭ методом электротомографии.

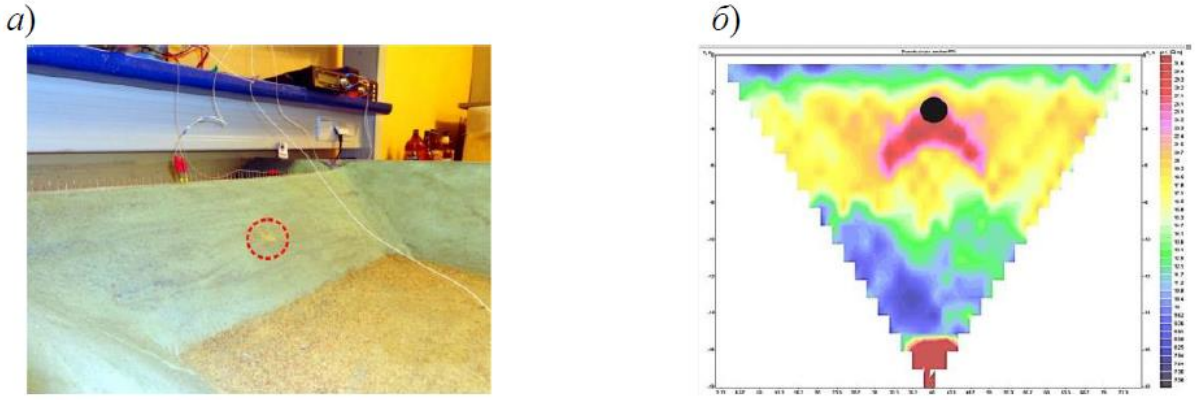


Рисунок 11.1 – Оценка фильтрационной прочности ПФЭ на физической модели плотины методом электротомографии:
а – зона фильтрации на физической модели ПФЭ дамбы; б – геоэлектрический портрет зоны интенсивной фильтрации

11.4.3 Наблюдательная сеть состоит из 2-3 продольных (соосных оси гидротехнического сооружения) профилей, на которых расположены (заглублены в грунт) металлические электроды, коммутируемые между собой в определенном порядке с помощью «электроразведочной косы» (многожильный геофизический кабель), уложенной в неглубокую траншею. Шаг между электродами зависит от необходимой разрешающей способности сети наблюдения и может составлять от 1-2 до 10 метров.

11.4.4 Следующим этапом является апробирование системы мониторинга геофильтрационного состояния грунтовой дамбы методом электротомографии до и после постановки сооружения под напор. Данный этап позволяет получить исходные геоэлектрические портреты сооружения, осуществлять оперативный контроль состояния сооружения, регулярно составлять оперативные заключения о геофильтрационном состоянии ПФЭ.

11.4.5 Получение оперативных данных о состоянии ПФЭ грунтовой дамбы производится на основе анализа измеряемых значений удельного электрического сопротивления (УЭС) вмещающего грунта, напрямую зависящих от его влажностного состояния.

11.4.6 После пропускания через определенные пары электродов низкочастотного электрического импульса и последующей регистрации потенциала на измеряемых парах электродов будет получена информация о величине удельного электрического сопротивления грунта вдоль профиля наблюдения.

11.4.7 В связи с тем, что основной вклад в величину УЭС грунта вносит изменение объемной доли воды, появляется возможность оценки фильтрационной картины, формирующейся в гидротехническом сооружении.

После выполнения нескольких циклов измерений проводится сравнительный анализ получаемых геоэлектрических разрезов с последующим выявлением зон интенсивной фильтрации.

11.4.8 Система мониторинга фильтрационной прочности ПФЭ, созданного способом «стена в грунте» с использованием местных полиминеральных глин, методом электротомографии может быть полностью автоматизирована: от момента запуска измерений до построения полученного в данный момент времени геоэлектрического разреза и последующего сравнительного анализа с данными, полученными ранее.

11.4.9 Наиболее целесообразно строительство системы мониторинга фильтрационной прочности ПФЭ методом электротомографии осуществлять до введения гидротехнического сооружения в эксплуатацию, поскольку это позволяет получить ряд наблюдений на всех этапах жизни сооружения: в ходе формирования фильтрационного режима и при установившемся фильтрационном режиме. Наличие геоэлектрических портретов сооружения для каждого из перечисленных этапов позволяет повысить точность определения неблагоприятных фильтрационных проявлений при их развитии.

11.4.10 Система мониторинга фильтрационной прочности ПФЭ методом электротомографии также может быть создана на эксплуатируемых объектах, при этом первые 3-4 года будет происходить накопление первичной информации по геоэлектрическому портрету сооружения, и в этот период достаточно сложно правильно интерпретировать наблюдаемую фильтрационную картину и оценить возможные нарушения фильтрационной прочности ПФЭ.

11.4.11 Ограничительной особенностью системы мониторинга фильтрационной прочности ПФЭ методом электротомографии является наличие интенсивных электромагнитных помех, вызванных наличием высоковольтных кабелей в створе ПФЭ, а также наличие крупных металлических конструкций в непосредственной близости к объекту исследований.

11.5 Мониторинг напряженно-деформированного состояния противофильтрационного элемента, созданного с использованием местных полиминеральных глин, с помощью дистанционной контрольно-измерительной аппаратуры

11.5.1 С целью контроля (мониторинга) напряженно-деформированного состояния ПФЭ гидротехнического сооружения, созданного способом «стена в грунте» с использованием местных

полиминеральных глин, следует на этапе проектирования предусматривать оснащение таких ПФЭ контрольно-измерительной аппаратурой (КИА).

11.5.2 При выборе контрольно-измерительных створов в грунтовой плотине (дамбе) с ПФЭ из МПГ следует учитывать конструктивные особенности сооружения и зоны возможных наибольших деформаций согласно расчетному моделированию. Для всестороннего и полноценного контроля (мониторинга) напряженно-деформированного состояния сооружения следует распределять контрольно-измерительные створы равномерно по всей длине ПФЭ.

11.5.3 В качестве КИА допускается применять дистанционные датчики струнного типа: для определения вертикальных сжимающих напряжений – преобразователи напряжения грунта (ГД, ПНГС или их аналоги), для определения продольных деформаций – преобразователи линейных перемещений (ПЛПС или аналоги).

Измерительный створ представляет собой конструкцию из датчиков, соединенных в единую «гирлянду» с помощью системы тросов и хомутов. Длина троса между датчиками подбирается таким образом, чтобы при вертикальном натянутом положении троса, каждый датчик занял свою проектную отметку. На рисунке 11.2 приведен пример схемы соединения датчиков.

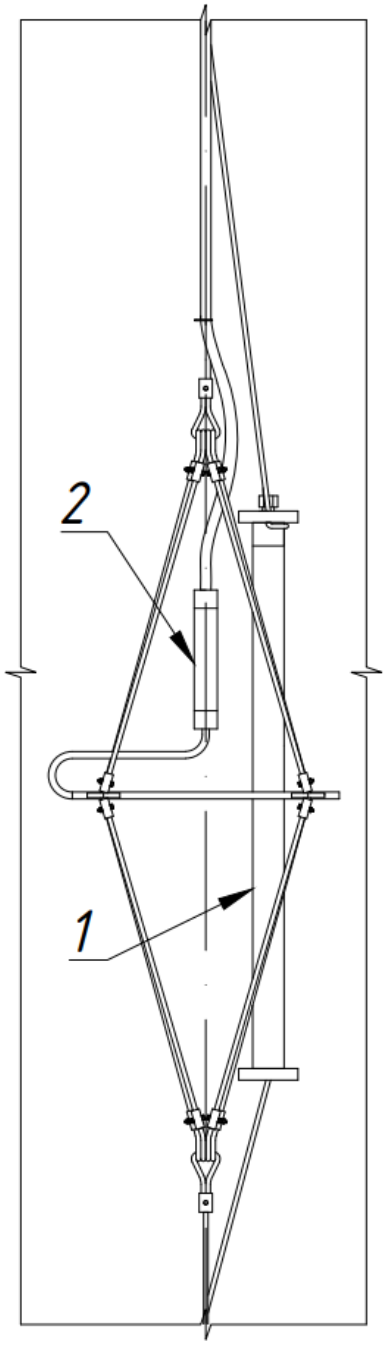


Рисунок 11.2 – Схема соединения датчиков напряжения грунта и линейных деформаций в единую конструкцию:
1 – преобразователь линейных деформаций; 2 – преобразователь напряжения грунта

11.5.4 С целью недопущения отклонения конструкции датчиков от вертикальной оси при заполнении траншеи глиной проектом необходимо предусмотреть оснащение конструкции утяжелителем весом минимум 40-50 кг, а сверху – фиксацию троса в заданном вертикальном положении.

На рисунке 11.3 приведен пример расположения дистанционной КИА в траншейной «стене в грунте», устроенной с гребневой части грунтовой плотины (ограждающей дамбы).

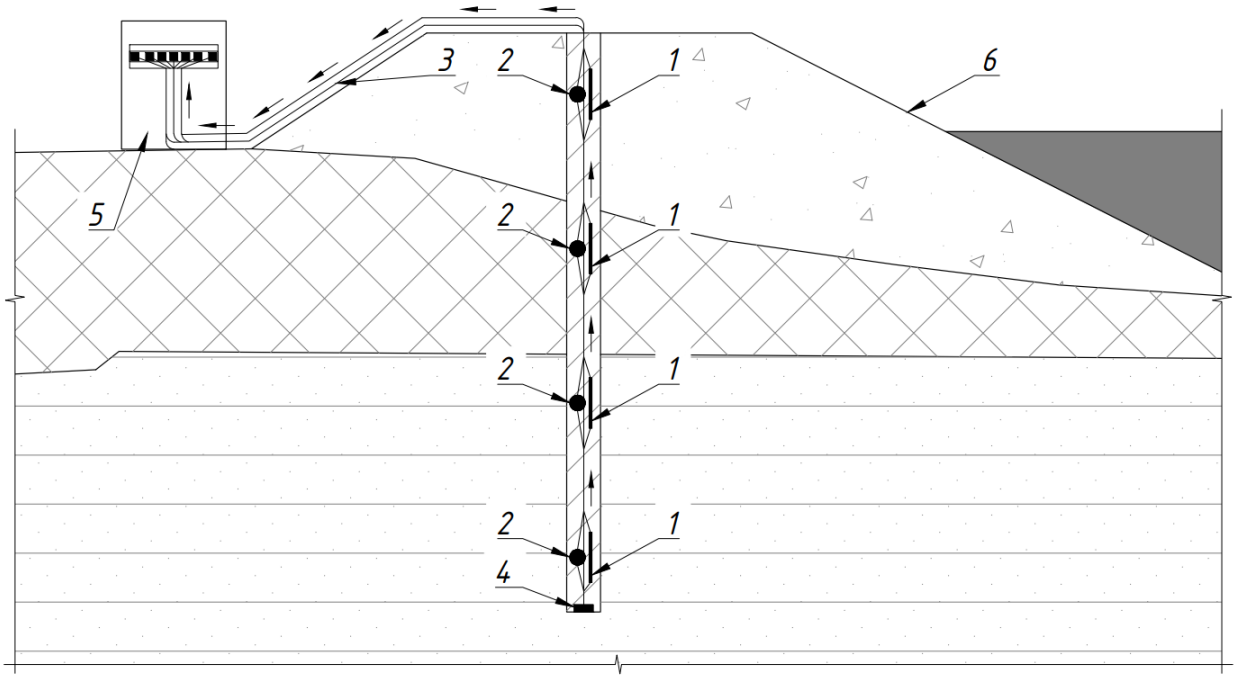


Рисунок 11.3 – Схема расположения дистанционной КИА в траншейной «стене в грунте»: 1 – преобразователь линейных деформаций; 2 – преобразователь напряжения грунта; 3 – трасса кабелей КИА; 4 – утяжелитель; 5 – коммутатор с защитным кожухом; 6 – грунтовая плотина (ограждающая дамба)

При прокладке кабелей дистанционной КИА от места их установки до измерительного пункта, следует предусматривать мероприятия по защите кабелей от повреждений.

11.5.5 При выборе диапазона измерений датчиков следует предусматривать 10-20% запас от максимальных расчетных значений деформаций. При работе датчика с диапазоном измерений, близким или соответствующим максимальным расчетным значениям, возникает повышенный риск выхода датчика из строя без возможности его замены.

11.5.6 Приемка, обеспечение сохранности кабелей входной контроль преобразователей и предмонтажная проверка КИА должны осуществляться в соответствии СТО 11233753-001-2006.

11.5.7 Непосредственно после заполнения траншеи комовой глиной следует выполнять цикл измерений установленной КИА, а результаты измерений использовать в качестве «нулевого значения». Все последующие измерения, определяющие фактическое состояние ПФЭ, вычисляются как разница между текущим значением и нулевым.

11.5.8 Оценка состояния гидротехнического сооружения с ПФЭ из МПГ выполняется на основе анализа накопленного ряда данных циклов измерений.

11.5.9 Система контроля (мониторинга) за напряженно-деформированным состоянием ПФЭ из МПГ может быть полностью автоматизирована. При проектировании КИА в гидротехническом сооружении, выборе состава и номенклатуры дистанционной КИА следует обеспечить возможность интегрирования проектируемой КИА с существующей или вновь создаваемой системой контроля (мониторинга). При проектировании автоматизированной системы опроса КИА следует руководствоваться требованиями СТО 17330282.27.140.004-2008, СТО 11233753-001-2006.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(текстовое приложение)

Форма протокола испытаний глинистых растворов, приготовленных на основе МПГ

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ от __.__.20__ г. №__
РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ГЛИНИСТЫХ РАСТВОРОВ, ПРИГОТОВЛЕННЫХ ИЗ ГЛИНЫ _____ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Основание для испытаний:
Продукция: образцы глинистых растворов
Место проведения испытания:
№ аттестата аккредитации лаборатории:
НД на испытание: ГОСТ 25795-83; ISO 10414-1; СП 45.13330; РД39-00147001-773-2004
Дата проведения испытания: _____ 20__ г.

Параметры	**Ед. изм.**	**Плотность чистого раствора, г/см^3**			**Плотность глинистого раствора после добавки КМЦ 0,5%, г/см^3**		
		1,15	**1,20**	**1,25**	**1,15**	**1,20**	**1,25**
Условная вязкость	сек						
Статическое напряжение сдвига	мг/см^2						
Водоотдача	см^3						
Толщина глинистой корки	мм						
Содержание песка	%						
Стабильность	г/см^3						

Испытания проводились на следующем оборудовании:
- рычажные весы (модель:_____), дата калибровки __.__.20__ г.;
- прибор ВМ-6/фильтр-пресс настольный (модель_____) № _____, свидетельство о поверке №_____, дата очередной поверки: __.__.20__ г.;
- воронка Марша, дата калибровки __.__.20__ г.;
- цилиндр стабильности ЦС-2 – не подлежит сертификации;
- вискозиметр ротационный (модель_____), зав.№ _____, свидетельство о поверке №_____, дата очередной поверки: __.__.20__ г.;
- набор для определения песка в буровом растворе – не подлежит сертификации.

Заведующий лабораторией _____(Ф.И.О., дата, подпись)

(М.П.)

Ответственный исполнитель _____(Ф.И.О., дата, подпись)

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(текстовое приложение)

Форма протокола испытаний ПФМ,
приготовленных на основе МПГ на водопроницаемость

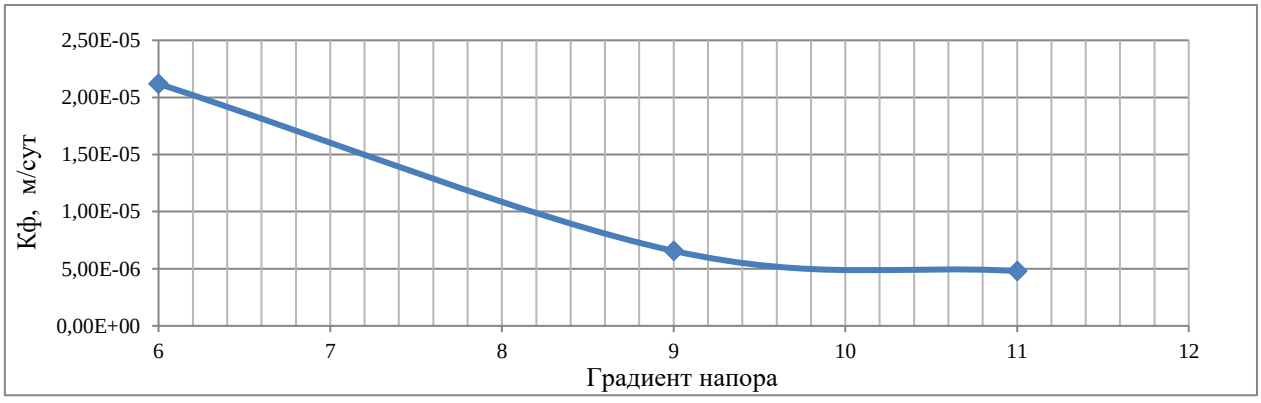
Объект:	
Заказчик:	
Номер договора:	
Место отбора, материал:	
НД на испытание:	
Сроки проведения испытания:	18.07.2024-01.08.2024

Протокол Кф от __.__.20__ Определение коэффициента фильтрации грунта

Результаты определения коэффициента фильтрации

Градиент напора	Коэффициент фильтрации		Средний коэффициент фильтрации	
	см/сек	м/сут	см/сек	м/сут
6				
9				
11				

График зависимости коэффициента фильтрации от градиента напора



Заключение:

Заведующий лабораторией _____(Ф.И.О., дата, подпись)

(М.П.)

Ответственный исполнитель _____(Ф.И.О., дата, подпись)

Библиография

[1] Собкалов Ф.П., Собкалов П.Ф. Использование глинистых растворов на основе местных полиминеральных глин при создании завес способом стена в грунте // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. – 2011. – Т. 262. – С. 35–45.

[2] Собкалов Ф.П., Собкалов П.Ф. Влияние глинистых тиксотропных растворов на качественные характеристики противофильтрационных диафрагм, завес и несущих конструкций, создаваемых способом «стена в грунте» / // 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 // Известия ВНИИГ. – 2013. – Т. 270. – С. 67–76.

[4] Собкалов Ф.П. Создание противофильтрационной завесы из местных глин для рекультивации накопителей токсичных отходов // Известия ВНИИГ. – 2014. – Т. 274. – С. 74–84.

[5] Котлов О.Н., Собкалов Ф.П., Сольский С.В., Таскаева С.Х. Обоснование проектных решений по рекультивации накопителей токсичных отходов на территории бывшего завода химикатов в г. Чапаевск // Известия ВНИИГ им. Б.Е. – 2020. – Т. 296. – С. 58–79.

[6] Сольский С.В., Котлов О.Н., Собкалов Ф.П. Обоснование выбора оптимального основания противофильтрационного контура при рекультивации накопителей токсичных отходов // Вестник МГСУ. - 2022. - Т. 17. - С. 93-105.

[7] Сольский С.В., Котлов О.Н., Собкалов Ф.П. Совершенствование технологии производства работ при строительстве противофильтрационных устройств способом «стена в грунте» / // Гидротехническое строительство. - 2022. - № 4. - С. 2-7.

[8] Собкалов Ф.П., Собкалов П.Ф., Сольский С.В. Способ создания водонепроницаемого сопряжения противофильтрационной завесы,

сооружаемой на площадке с разновысокими отметками методом «стена в грунте» // Патент № 2568757 от 20.11.2015.

[9] Собкалов Ф.П., Собкалов П.Ф., Сольский С.В. Каскадный способ создания противофильтрационной завесы (ПФЗ), сооружаемой способом «стена в грунте» на откосе с уклоном более 3˚ // Патент № 2579780 от 10.04.2016.

УДК 626/627, 624.137.7, 624.137.5, 502.7 ОКС 93.160, 91.200

Ключевые слова: Противофильтрационные элементы, противофильтрационная завеса, местные полиминеральные глины, способ «стена в грунте», тиксотропный раствор, устойчивость стенок траншей, противофильтрационные материалы, комовая глина, критерии оценки качества местных глин, комплексное использование местных глин, каскадный способ, водонепроницаемое сопряжение, форшахта многоразового использования, накопители токсичных отходов, фильтрат, подземные воды, поверхностные воды, рекультивация, могильник, земляные работы

Руководитель организации - разработчика:

АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»		
Наименование организации		
Заместитель Генерального директора по научной деятельности АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», д.т.н.		Штильман В.Б.
Должность	Подпись	Ф.И.О.

Руководитель разработки,

Научный сотрудник, к.т.н.		Собкалов Ф.П.
Должность	Подпись	Ф.И.О.

Исполнители

Нач. отдела № 310, к.г.-м.н.		Котлов О.Н.
Должность	Подпись	Ф.И.О.
Зав. лабораторией № 312, к.т.н.		Лопатина М.Г.
Должность	Подпись	Ф.И.О.
Главный научный сотрудник лаб. № 312, д.т.н.		Сольский С.В.
Должность	Подпись	Ф.И.О.
Ведущий научный сотрудник лаб. № 312, к.х.н.		Алексеева Т.Е.
Должность	Подпись	Ф.И.О.
Ст. науч. сотрудник лаб. № 312		Легина Е.Е.
Должность	Подпись	Ф.И.О.
Научный сотрудник лаб. № 312		Захарова С.А.
Должность	Подпись	Ф.И.О.

Научный сотрудник лаб. № 312		Клушенцев В.А.
Должность	Подпись	Ф.И.О.
Мл. науч. сотрудник отд. № 302		Лабойко Р.Ю.
Должность	Подпись	Ф.И.О.
Ведущий инженер отд. № 310		Герасимова Е.В.
Должность	Подпись	Ф.И.О.
Инженер 1 кат., лаб. № 312		Кузьмин Н.В.
Должность	Подпись	Ф.И.О.
Инженер 2 кат., лаб. № 312		Головина М.П.
Должность	Подпись	Ф.И.О.
Инженер 2 кат., лаб. № 312		Гардиева А.Р.
Должность	Подпись	Ф.И.О.