

Технология «стена в грунте» в подземном строительстве

Н. С. Надточий^{1*}, А. В. Любомирский²

^{1,2} Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Информация о статье УДК 624.012.3/4

Аннотация

В настоящее время в мире наблюдается неблагоприятная тенденция - перенаселенность в крупных городах. Что, в свою очередь, влечет за собой нехватку пространства для комфортного проживания человека. Это является острой проблемой современных мегаполисов. Данный вопрос требует серьезного подхода для поиска его благополучного решения. На помощь приходит успешное применение технологии «стена в грунте» в подземном строительстве. В данной статье рассмотрены классификация этого метода, а также его преимущества и недостатки. На основании анализа научных статей рассмотрена классификация технологии, описаны два способа изготовления монолитной армированной стены: «сухой» и «мокрый». Предложены рекомендации по снижению негативного влияния на окружающую среду - главного недостатка «стены в грунте».

Ключевые слова: «стена в грунте», технологии строительства, подземные сооружения, возведение зданий, свойство материала, армирование, несущие конструкции, геология

Содержание

1.	Введение	47
2.	Обзор литературы	47
3.	Цель исследования	48
4.	Область применения и технологии	48
5.	Способы возведения монолитной «стены в грунте» и их классификация	48
6.	Преимущества и недостатки	49
7.	Влияние на окружающую среду	50
8.	Рекомендации по снижению негативного влияния на окружающую среду	50
9.	Заключение	50

Контактный автор:

1*. +7(999)5165092, Nekitmusicant98@yandex.ru (Надточий Никита Сергеевич, студент)

2. +7(911)1446896, tsap.vasia@yandex.ru (Любомирский Арсений Владимирович, студент)

1. Введение

Население современного мира составляет более 7,5 миллиардов человек, большая часть из которых проживает в городах. Данная статистика говорит сама за себя: нынешние города, особенно крупные европейские, густо заселены. Возникает проблема перенасыщенности личного транспорта и нехватки общественного. Местные власти должны заботиться о том, чтобы каждому гражданину в городе хватало места. Возникает острая нехватка территорий.

Появляются различные программы и нововведения для решений данной проблемы. Одним из наиболее эффективных решений является рациональное использование подземного пространства. Освоение данной области подразумевает под собой строительство всевозможных паркингов, супермаркетов и других различных нежилых сооружений для экономии пространства наверху. Но в условиях городской застройки достаточно сложно вести строительство подземных сооружений.

Здесь и приходит на помощь новый высокотехнологичный метод возведения конструкций - метод «стена в грунте», который существенно упрощает процесс строительства различных конструкций в условиях плотной застроенных городских кварталов. Позволяет затрачивать при этом минимум средств и усилий. Мировой опыт показывает, что технология «стена в грунте» - технология будущего, которая в скором времени станет незаменимой в сфере городского подземного строительства.

2. Обзор литературы

Большой вклад в изучение возведения сооружений методом «стена в грунте» внесли следующие российские и зарубежные исследователи: Марголин В.М., Саинова М.П., Пономаренко Ю.В., Изотов А.А., Пермяков М.Б., Тимофеев С.В., Кадыров А.С., Нурмаганбетов А.С. и др.

Использование технологии «стена в грунте» для возведения противодиффузионных завес рассмотрено в работах [1-6].

В работе Саинова М.П. рассматриваются результаты расчёта напряжённо-деформированного состояния плотины, имеющей комбинированный противодиффузионный элемент. В нижней части плотины, а также в её основании методом «стена в грунте» устроена противодиффузионная завеса, а в верхней части – железобетонный экран. Данный тип плотины постепенно внедряют в гидротехническое строительство [1].

Марголина В.М. предложил практическое применение методики проектирования основных параметров противодиффузионных конструкций, устраиваемых методом «стена в грунте». Автором статьи были получены графики, позволяющие выполнять расчёты в ручном режиме, также была определена техническая эффективность противодиффузионных конструкций в гидротехническом и подземном строительстве [2].

Саинов М.П. в своей статье анализируют результаты численного моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) противодиффузионной завесы, выполненной методом «стена в грунте», в основании и теле грунтовой плотины Юмагузинского гидроузла. В целом НДС стены довольно благоприятное, т.к. она сжата со всех сторон. Изгибные деформации стены от ее прогиба незначительны [3].

В статье Пермякова М.Б. и др. проведен обзор технологии возведения подземных сооружений и противодиффузионных завес способом «стена в грунте» с изменением технологии укладки и состава смесей с нормированным сроком схватывания [4].

Авторы Пономаренко Ю.В. и Изотов А.А. рассматривают трудности осуществления противодиффузионных мероприятий при подземном строительстве на территориях подтопленных городов. Предложена технология возведения «стены в грунте» под наземными сооружениями, основанная на комплексном использовании завес инъекционного и инфузионного типов с применением горизонтальных инъекционных скважин [5].

Пермяков М.Б., Тимофеев С.В. в статье рассматривают технологические методы возведения противодиффузионных завес, их специфические особенности и анализ достоинств и недостатков каждой технологии [6].

В работах [7-12] исследуются материалы и способы, используемые при возведении зданий по технологии «стена в грунте».

Львова Е.С., Шуплик М.Н., Куликова Е.Ю. приводят анализ влияния строительства подземных сооружений способом «стена в грунте» на окружающую среду. Использование данного способа очень критично и остро воспринимается в «мировой» практике, потому что он оказывает вредное воздействие на экологическую обстановку и людей [7].

Кадыров А.С., Нурмаганбетов А.С., Ахатов Д.Б. в своем труде рассматривают процесс взаимодействия глин с водой, который позволил установить состав глинистых растворов, обладающих тиксотропностью. Получены рекомендации по параметрам глинистых растворов, обладающих необходимыми свойствами для удержания стенок траншей от обрушения при строительстве способом «стена в грунте», не увеличивающими энергозатраты при проходке траншей [8].

Сазоновой С.А., Бочкаревой Т.М. рассмотрены вопросы гидроизоляции подземных сооружений методом «стена в грунте» [9].

Балуевым И.Б. и Кошелевым Н.В. изложена технология устройства ограждения стен котлованов бетонными буронабивными сваями методом «стена в грунте» [10].

В своей статье Баданин А.Н., Колосов Е.С. рассматривают улучшение строительных свойств грунтов за счет их армирования геосинтетическими материалами, а именно георешетками [11].

По своим результатам исследований Vasilic K., Schmidt W., Kuhne H.C., Mechtcherine V., Roussel N. вывели новый инновационный подход к численному моделированию процесса застывания армированных элементов на большой глубине [12].

Проведен анализ характеристик данной технологии в подвижных грунтах [13-14].

Юговым А.М., Новиковым Н.С., Гаврилюком А.С. был проанализирован существующий состав геотехнического мониторинга при устройстве «стены в грунте» в стесненных условиях. Произведена оценка эффективности данного метода контроля в обеспечении безопасности объекта строительства и окружающей среды [13].

В статье Вартанова А.З. и др. изложен опыт использования методов сейсморазведки для определения подошвы «стены в грунте». В частности, используется метод общей глубинной точки [14].

3. Цель исследования

Цель данной работы - выявление преимуществ и недостатков технологии «стена в грунте» в ходе применения данного метода при возведении сооружений, а также оценка рациональности использования данной технологии в мировом строительстве.

4. Область применения и технологии

Ни для кого не секрет, что в крупных мегаполисах подземное строительство считается одним из самых перспективных направлений развития. При нынешней перенасыщенности городов транспортом строительство подземных автостоянок стало особенно значимым. Особую актуальность приобрело строительство подземных сооружений нового поколения с использованием высоких технологий, одним из примеров которых является «стена в грунте» Применение этого метода целесообразно в сложных гидрогеологических условиях (отпадает необходимость в водопонижении, замораживании и т.п.) Он эффективен при строительстве на застроенных территориях небольших подземных сооружений на значительной глубине (обычно около 20 м), например, транспортных тоннелей, пешеходных переходов и т.д. Однако применение данного метода строительства не ограничивается лишь подземным пространством городской территории. «Стена в грунте» активно используется в сооружении других различных построек.

По назначению сооружения, возводимые способом «стена в грунте» подразделяются на:

- гидротехнические - насосные станции и водозаборы, которые располагаются в берегах озер, рек;
- транспортные - подземные переходы, туннели метро, подземные автостоянки и гаражи;
- промышленные - технологические галереи, туннели, подземные этажи и фундаменты;
- гражданские - подземные этажи и фундаменты общественных и жилых зданий.

5. Способы возведения монолитной «стены в грунте» и их классификация

Существуют два способа возведения данной конструкции: «сухой» и «мокрый».

«Сухой» способ осуществляется без использования глинистого раствора, который закрепляет стенки траншеи, данный метод является экономичным по сравнению с «мокрым» способом, но только при строительстве в маловлажных и устойчивых грунтах.

«Мокрый» способ используется в водонасыщенных неустойчивых грунтах. Здесь же всё наоборот: неустойчивость грунтов требует укрепления стенок траншеи. При заполнении траншеи глинистым раствором создается давление на её стенки, которое должно быть больше активного давления окружающего грунта и грунтовых вод, чтобы защитить стенки от обрушения. Это позволяет отказаться от таких работ как водопонижение, замораживание и забивка шпунта. При устройстве стен в грунте «мокрым» способом следует учитывать такое свойство глинистого раствора, как тиксотропность: способность геля восстанавливать свою первоначальную форму после механических воздействий. Благодаря этому свойству глинистый раствор способен не только загустевать на этапе строительства, но и становиться жидким при механическом воздействии. Самые лучшие тиксотропные свойства имеют бентонитовые глины. Именно поэтому чаще всего роль глинистого раствора играет бентонируемый раствор, который к тому же обладает водоотталкивающим свойством. Такое укрепление стенок позволяет экономить затраты на водопонижении и забивке шпунта.

«Стены в грунте» классифицируются:

- По назначению: несущие, ограждающие и противофильтрационные;
- По материалу: железобетонные, бетонные, грунтоцементные, глинистые, комбинированные;
- По способу изготовления: монолитные, сборные, сборно- монолитные.

Таб1. Средства механизации и приспособления для устройства стены в грунте

Наименование, тип	Основные параметры	Назначение
Экскаватор одноковшовый, гидравлический, на гусеничном ходу, с ковшом "грейфер"	Четвёртая размерная группа, типа ЭО-4122: глубина траншеи до 14 м, ширина траншеи 0,4-0,8 м, длина захватки 1,8 м. Пятая размерная группа, типа ЭО- 5124: глубина траншеи до 20 м, ширина траншеи 0,6-1,0 м, длина захватки 2,5 м.	Разработка траншеи в грунтах I-IV группы
Экскаватор одноковшовый, гидравлический, на гусеничном ходу, с ковшом "грейфер на штанге"	Четвёртая размерная группа, типа ЭО-4122: глубина траншеи до 25 м, ширина траншеи 0,4-0,6 м, длина захватки 2,5 м.	Разработка траншеи в грунтах I-IV группы
Глиномешалка (смеситель)	Производительность 6 (15, 60) м ³ /час	Приготовление, глинистого раствора
Насосы шламовые (грязевые) поршневые, центробежные	Производительность 6 (18, 36) м ³ /час. Давление 15 (35, 60) кПа	Приготовление, глинистого раствора
Контрольно- измерительные приборы	Дальномер лазерный, предел измерений до 100 м. Рулетка измерительная 5, 10 и 50м. Линейка измерительная 1 м. Отвес стальной строительный - длина шнура до 25 м. Лот на мерной нити массой 2-3 кг	Измерение параметров траншеи, обеспечение качества земляных работ
Нормокомплект инструмента для земляных работ	Комплект инструмента: кирки-мотыги, кирки односторонние и двусторонние, ломы обыкновенные, лопаты копальные остроконечные и прямоугольные, подборочные, кувалды остроносые и тупоносые, топоры, ножовки по дереву.	Вспомогательные земляные работы

6. Преимущества и недостатки

Несомненно, у данного метода достаточно и "плюсов", и "минусов". Преимуществами технологии является возможность устройства глубоких котлованов в плотной городской застройке, надёжность, уменьшение объемов земляных работ, сокращение сроков строительства, а также не требуется производить работы по водопонижению.

Но данный метод имеет и недостатки: одним из основных является слабое сцепление бетона и арматуры из-за налипания бентонитового раствора на арматуру в процессе работ. Работы по устройству монолитной «стены в грунте» значительно затрудняются в зимний период, в холодное время года предпочтительна технология создания «стены в грунте» из сборного железобетона, однако в технологии устройства сборной «стены в грунте» есть недостатки: высокая стоимость; трудность транспортировки панелей на объект; потребность в кранах большой грузоподъемности. К тому же при монтаже сборного железобетона возникают зазоры, устранение которых также является трудоемким процессом. Но все же главным минусом этой технологии является ее влияние на окружающую среду

7. Влияние на окружающую среду

Учитывая все вышеизложенные факты, можно с уверенностью отметить, что «стена в грунте» является высокоэффективным способом возведения подземных сооружений в условиях плотной городской застройки и в сложных гидрогеологических условиях. Именно из-за этого к данному методу предъявляются особые требования, связанные с влиянием строительства по данной технологии на окружающую среду. Постройка конструкций способом «стена в грунте» должна выполняться следующим образом:

1. необходимо сводить к минимуму нарушения городской среды;
2. стараться всячески предотвращать загрязнение воздуха, поверхностных и подземных вод;
3. обеспечить устойчивость расположенных неподалеку зданий и сооружений, их фундаментов и инженерных коммуникаций;
4. исключить осадки грунтового массива и поверхности земли.

Одной из главных опасностей при строительстве методом «стена в грунте» для природы является загрязнение и истощение запасов подземных вод. В основном, именно из-за этого накладываются значительные ограничения на использование данной технологии при строительстве. Запасу пресной воды угрожает загрязнение и истощение. Обычно глинистые растворы, применяемые при строительстве, содержат в своем составе всевозможные химические добавки, которые способствуют стабилизации и увеличению скорости схватывания и застывания данных специальных растворов. Такие добавки часто выносятся грунтовыми водами, фильтрующимися по направлению к подземному сооружению, тем самым происходит химическое загрязнение гидросферы. Поэтому, при строительстве таким методом протяженных подземных сооружений в водонасыщенных грунтах необходимо предусматривать меры, исключающие нарушение режима грунтовых вод и обеспечивающие сохранность естественного уровня. Опасность загрязнения вод поверхностного стока возникает уже при отведении строительной площадки и подготовительных работах на поверхности земли. В итоге, при работе оборудования в почву и воды попадает значительное количество бензина, масел, масляных и нефтяных веществ и т.п. Дождевая вода разносит эти вредные вещества на значительные по площади территории, что влечет масштабное загрязнение почв, растительности, водоемов. На крупных строительных площадках сброс грунтовых вод в дождевую канализацию без предварительной очистки возможен, но только если концентрация масляных и нефтяных веществ не превышает предельно допустимой нормы.

8. Рекомендации по снижению негативного влияния на окружающую среду

Основным требованием для уменьшения отрицательного влияния на природу является применение особых инженерных мер по снижению уровня шума и вибрации до допустимых норм. Вся строительная техника должна быть снабжена специальными средствами защиты, использование которых снизит уровень создаваемого шума и вибрации, чтобы данные эффекты в жилых и общественных зданиях не превышали допустимых значений, установленных специальными санитарными нормами. Для эффективной защиты грунта применяется следующая технология: в теле стены создаются специальные дренажные отверстия из соответствующих материалов или укладываются дренажные трубы для свободного пропуска грунтовых вод через возведенную конструкцию. Для того, чтобы избежать любого загрязнения водоемов в городе и за его пределами, применяют способ раздельного отведения чистых грунтовых вод и загрязненных производственных сточных вод со строительной площадки. Последние, содержат глинистый и цементный растворы, бензин, масла и другие вредные и токсичные вещества, поэтому должны быть подвергнуты обязательной тщательной очистке через грязеотстойники, бензомаслоуловители и биофильтры. В результате, содержание негативно воздействующих и токсичных примесей в производственных сточных водах, удаляемых со стройплощадки, не должно превышать пределов, прописанных в специальных санитарных нормах. Для того, чтобы полностью или хотя бы частично предотвратить загрязнение воздуха при строительстве подземных сооружений в жилых и промышленных зонах, нужно использовать оборудование с электроприводами или же оборудование, оснащенное специальными газоочистителями.

9. Заключение

В данной статье представлено исследование, посвященное выявлению «плюсов» и «минусов» технологии «стена в грунте» и оценке рациональности её использования, а также предложены способы решения главной проблемы при использовании данного метода - загрязнения окружающей среды. Исследование основано на анализе научных статей.

Так как строительная технология «стена в грунте» активно внедряется в разные сферы строительства, увеличивается объем освоения подземного пространства мегаполисов, необходимо улучшать данный метод. Рациональность использования данной технологии связана, несомненно, с возможностью освоения малопригодных для строительства территорий, строительством сооружений в сложных гидрогеологических и грунтовых условиях, в плотной городской застройке и в районах со сложными климатическими условиями.

Совершенствование метода, в основном, должно касаться проблем, связанных с негативным воздействием при возведении зданий и конструкций по данной технологии на окружающую среду: загрязнение почв, грунтовых вод и воздуха. Используя в теле стены специальные дренажные отверстия или трубы, оборудуя строительную технику газоочистителями, а также, внедряя способ раздельного отведения чистых грунтовых вод и загрязненных производственных сточных вод со строительной площадки, можно добиться серьезного изменения влияния технологии «стена в грунте» на окружающую среду.

Таким образом, технологию возведения сооружений данным методом можно отнести к востребованным в мировом строительстве, даже несмотря на ее возможное негативное влияние на окружающую обстановку и высокой себестоимости.

Благодарности

Авторы выражают признательность научному консультанту Колосовой Наталье Борисовне и Тарасовой Дарье Сергеевне за оказанную помощь при проведении данного исследования и написании статьи.

Литература

- [1]. Саинов М.П. Анализ работоспособности каменной плотины с комбинацией противодиффузионных элементов – железобетонного экрана и глиноцементобетонной стены // Инженерно-строительный журнал. 2016. №4 (64). С. 3-9.
- [2]. Марголин В.М. Проектирование эффективных противодиффузионных конструкций, устраиваемых способом «стена в грунте» // Промышленное и гражданское строительство. 2015. №8. С. 67-70.
- [3]. Саинов М.П. Пространственная работа противодиффузионной стены // Инженерно-строительный журнал. 2015. №5 (57). С. 20-33.
- [4]. Пермяков М.Б., Давыдова А.М., Асланов С.А., Зарубин В.Л. Исследование технологии возведения подземного сооружения и противодиффузионных завес // Наука и безопасность. 2015. №4 (17). С. 28-43.
- [5]. Пономаренко Ю.В., Изотов А.А. Проблемы сооружения противодиффузионных завес и «стен в грунте» при освоении подземного и пространства на городских подтопленных территориях // Промышленное и гражданское строительство. 2014. №1. С. 43-45.
- [6]. Пермяков М.Б., Тимофеев С.В. Технология устройства противодиффузионных завес методом «стена в грунте» // Наука и безопасность. 2013. №2 (7). С. 33-37.
- [7]. Львова Е.С., Шуплик М.Н., Куликова Е.Ю. Анализ влияния строительства подземных сооружений способом «стена в грунте» на экологическую обстановку // Горные науки и технологии. 2011. №8. С. 46-52.
- [8]. Кадыров А.С., Нурмаганбетов А.С., Ахатов Д.Б. О возможности использования местных глин для строительства способом «стена в грунте» // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2012. №25. С. 48-53.
- [9]. Сазонова С.А., Бочкарева Т.М. Гидроизоляция зданий и сооружений, выполненных по технологии «стена в грунте» с применением геосинтетиков // Вестник Пермского национально-исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2011. №1. С. 68-74.
- [10]. Балуев И.Б., Кошелев Н.В. Ограждения котлованов из буронабивных свай методом «стена в грунте» // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2015. №1. С. 314-318.

References

- [1]. Sainov M.P. Analiz rabotosposobnosti kamennoy plotiny s kombinatsiyey protivodifuzionnykh elementov – zhelezobetonnoy ekrana i glinotsementobetonnoy steny [Analysis of normal operation of a rockfill dam with combination of seepage-control elements: reinforced concrete face and clay-cement-concrete wall]. Magazine of Civil Engineering. 2016. No. 4 (64). Pp. 3-9. (rus)
- [2]. Margolin V.M. Proektirovanie effektivnykh protivodifuzionnykh konstruksiy, ustraivaemykh sposobom «stena v grunte» [Design of Efficient Impervious Structures Constructed by Slurry Wall Method]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2015. No. 8. Pp. 67-70. (rus)
- [3]. Sainov M.P. Prostranstvennaya rabota protivodifuzionnoy steny [3D performance of a seepage control wall in dam and foundation]. Magazine of Civil Engineering. 2015. No. 5 (57). Pp. 20-33. (rus)
- [4]. Permyakov M.B., Davydova A.M., Aslanov S.A., Zarubin V.L. Issledovanie tekhnologii vozvedeniya podzemnogo sooruzheniya i protivodifuzionnykh zaves [Investigation of technology of subsurface structure and ground water cutoff]. Nauka i bezopasnost'. 2015. No. 4 (17). Pp. 28-43.
- [5]. Ponomarenko Yu.V., Izotov A.A. Problemy sooruzheniya protivodifuzionnykh zaves i «sten v grunte» pri osvoenii podzemnogo i prostranstva na gorodskikh podtoplennykh territoriyakh [Problems of Building of Anti-Filtering Screens and «Slurry Walls» When Developing Underground Space on Urban Underflooded Territories]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2014. No. 1. Pp. 43-45. (rus)
- [6]. Permyakov M.B., Timofeev S.V. Tekhnologiya ustroystva protivodifuzionnykh zaves metodom «stena v grunte» [Erection of ground water cutoff by the method "wall in soil"]. Nauka i bezopasnost'. 2013. No. 7. Pp. 33-37. (rus)
- [7]. L'vova E.S., Shuplik M.N., Kulikova E.Yu. Analiz vliyeniya stroitel'stva podzemnykh sooruzheniy sposobom «stena v grunte» na ekologicheskuyu obstanovku [The analysis of influence of construction of underground structures by a way "slurry wall" on ecological conditions]. Mining science and technology. 2011. No. 8. Pp. 46-52. (rus)
- [8]. Kadyrov A.S., Nurmaganbetov A.S., Akhatov D.B. O vozmozhnosti ispol'zovaniya mestnykh glin dlya stroitel'stva sposobom «stena v grunte» [Using clay for the construction of the method "wall in soil"]. Vestnik Sibirskoy gosudarstvennoy avtomobil'no-dorozhnoy akademii. 2012. No. 25. Pp. 48-53. (rus)
- [9]. Sazonova S.A., Bochkareva T.M. Gidroizolyatsiya zdaniy i sooruzheniy, vypolnennykh po tekhnologii «stena v grunte» s primeneniem geosintetikov [Waterproofing of buildings and structures accomplished by technology "slurry wall"]. VESTNIK of Perm national research Polytechnic University. 2011. No. 1. Pp. 68-74. (rus)

- [11]. Баданин А.Н., Колосов Е.С. Определение несущей способности армированного георешеткой грунтового основания // Инженерно-строительный журнал. 2012. Т. 30. №4. С.25-32.
- [12]. Vasilic K., Schmidt W., Kuhne H.C., Mechtcherine V., Roussel N. Flow of fresh concrete through reinforced elements: Experimental validation of the porous analogy numerical method. Cement and Concrete Research. 2016. No. Pp. 1-6.
- [13]. Югов А.М., Новиков Н.С., Гаврилюк А.С. Геотехнический мониторинг при устройстве «стены в грунте» в стесненных условиях // Вестник МГСУ. 2015. №7. С. 57-68.
- [14]. Вартанов А.З., Ковпак И.В., Титов Н.Е. Геофизические исследования геометрических характеристик сооружений типа «стена в грунте» // Горный информационно-аналитический бюллетень (инженерно-строительный журнал). 2009. №9. С.130-133.
- [15]. Кудрявцев С.А., Кажарский А.В. Численное моделирование процесса миграции влаги в зависимости от скорости промерзания грунтов // Инженерно-строительный журнал. 2012. Т. 30. №4. С. 33-38.
- [16]. Исаев Ю.С., Бойко О.В., Дорохин К.А., Костромитина Е.В. Оценка качества возведения «стены в грунте» по данным сейсмоакустического межскважинного просвечивания // Метро и тоннели. 2016. №6. С. 13-16.
- [17]. Кобидзе Т.Е., Колобаев Д.А., Потапов Г.В. Гидроизоляционные системы для подземных сооружений транспортного назначения, возводимых по технологии «стена в грунте» // Метро и тоннели. 2016. №1. С. 19-21.
- [18]. Исупов И.А. Анализ технологии подземного строительства методом «стена в грунте» // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2016. Т. 1. С. 299-304.
- [19]. Радзинский А.В., Рассказов Л.Н., Саинов М.П. Плотина стометровой высоты с глиноцементобетонной диафрагмой по типу «стена в грунте» // Вестник МГСУ. 2014. №9. С. 106-115.
- [20]. Мангушев Р.А., Веселов А.А., Сапин Д.А. Влияние формы сечения конструкции «стена в грунте» на дополнительную осадку соседних зданий // Вестник гражданских инженеров. 2012. №6 (35). С. 71-77.
- [21]. Мангушев Р.А., Веселов А.А., Конюшков В.В., Сапин Д.А. Численное моделирование технологической осадки соседних зданий при устройстве траншейной «стены в грунте» // Вестник гражданских инженеров. 2012. №5 (34). С. 87-98.
- [22]. Зерцалов М.Г., Конюхов Д.С. Применение высоких технологий при освоении подземного пространства городов // Вестник МГСУ. 2010. №4 (4). С. 37-43.
- [23]. Марголин В.М. Метод расчета противодиффузионных конструкций с учетом начального градиента фильтрации, возводимых способом «стена в грунте» // Вестник Московского государственного открытого университета. Москва. Серия: Техника и технология. 2010. №2. С. 17-22.
- [24]. Bobylev N., Sterling R. Urban underground space: A growing imperative Perspectives and current research
- [10]. Baluev I.B., Koshelev N.V. Ograzhdeniya kotlovanov iz buronabivnykh svay metodom «stena v grunte» [Fencing of the working trench from bored piles using the method "slurry wall"]. Higher Education Discovery. 2015. No. 1. Pp. 314-318. (rus)
- [11]. Badanin A.N., Kolosov E.S. Opredelenie nesushchey sposobnosti armirovannogo georeshetkoy gruntovogo osnovaniya [Determination of the carried capacity of the ground-based reinforced sub-base]. Magazine of Civil Engineering. 2012. T. 30. No. 4. Pp. 25-32. (rus).
- [12]. Vasilic K., Schmidt W., Kuhne H.C., Mechtcherine V., Roussel N. Flow of fresh concrete through reinforced elements: Experimental validation of the porous analogy numerical method. Cement and Concrete Research. 2016. No. Pp. 1-6.
- [13]. Yugov A.M., Novikov N.S., Gavrilyuk A.S. Geotekhnicheskii monitoring pri ustroystve «steny v grunte» v stesnennykh usloviyakh [Geotechnical monitoring while constructing the "slurry wall" in restricted conditions]. Vestnik MGSU. 2015. No. 7. Pp. 57-68. (rus)
- [14]. Vartanov A.Z., Kovpak I.V., Titov N.E. Geofizicheskie issledovaniya geometricheskikh kharakteristik sooruzheniy tipa «stena v grunte» [Geophysical studies of geometric characteristics of type "slurry wall"]. Mining information and analytical bulletin. 2009. No. 9. Pp.130-133. (rus)
- [15]. Kudryavtsev S.A., Kazharskiy A.V. Chislennoe modelirovanie protsessa migratsii vlagi v zavisimosti ot skorosti promerzaniya gruntov [Numerical modeling of the moisture migration process]. Magazine of Civil Engineering. 2012. T. 30. No. 4. Pp. 33-38. (rus)
- [16]. Isaev Yu.S., Boyko O.V., Dorokhin K.A., Kostromitina E.V. Otsenka kachestva vozvedeniya «steny v grunte» po dannym seysmoakusticheskogo mezhskvazhinnogo prosvechivaniya [Estamination of the quality of "slurry wall"]. Russian tunnelling association. 2016. No. 6. Pp. 13-16. (rus)
- [17]. Kobidze T.E., Kolobaev D.A., Potapov G.V. Gidroizolyatsionnye sistemy dlya podzemnykh sooruzheniy transportnogo naznacheniya, vozvodimykh po tekhnologii «stena v grunte» [Waterproofing systems for underground structures of the transport destination built on the «slurry wall» technology]. Russian tunnelling association. 2016. No. 1. Pp. 19-21. (rus)
- [18]. Isupov I.A. Analiz tekhnologii podzemnogo stroitel'stva metodom «stena v grunte» [Technology a wall in a soil]. Sovremennye tekhnologii v stroitel'stve. Teoriya i praktika. 2016. T. 1. Pp. 299-304. (rus)
- [19]. Radzinskiy A.V., Rasskazov L.N., Sainov M.P. Plotina stometrovoy vysoty s glinotsementobetonnoy diafragмой po tipu «stena v grunte» [Clay-cement concrete diaphragm of the type "slurry wall" in the 100 meter high dam]. Vestnik MGSU. 2014. No. 9. Pp. 106-115. (rus)
- [20]. Mangushev R.A., Veselov A.A., Sapin D.A. Vliyaniye formy secheniya konstruksii «stena v grunte» na dopolnitel'nyuyu osadku sosednikh zdaniy [The influence of the «slurry wall» construction section form on the extra settlement of neighboring buildings]. Bulletin of civil engineers. 2012. No. 6 (35). Pp. 71-77. (rus)
- [21]. Mangushev R.A., Veselov A.A., Konyushkov V.V., Sapin D.A. Chislennoe modelirovanie tekhnologicheskoy osadki sosednikh zdaniy pri ustroystve transheynoy «steny v grunte» [Numerical simulation of adjoining development's technology settlement in process of trench slurry wall construction]. Bulletin of civil engineers. 2012. No. 5 (34). Pp. 87-98. (rus)
- [22]. Zertsalov M.G., Konyukhov D.S. Primeneniye vysokikh tekhnologiy pri osvoenii podzemnogo prostranstva gorodov

- in planning and design for underground space use. Tunnelling and underground space technology. 2016. 55. Pp. 1-4.
- [25]. Hunt D. V. L., Makana L. O., Jefferson I. Liveable cities and urban underground space. Tunnelling and underground space technology. 2016. 55. Pp. 8-20.
- [26]. Li XiaoZhao, Li Congcong, Aurele P. Multiple resources and their sustainable development in Urban Underground Space. Tunnelling and underground space technology. 2016. 55. Pp. 59-66.
- [27]. Admiraal H., Cornaro A. Why underground space should be included in urban planning policy - And how this will enhance an urban underground future. Tunnelling and underground space technology. 2016. 55. Pp. 214-220.
- [28]. Broere W. Urban underground space: Solving the problems of today's cities. Tunnelling and underground space technology. 2016. 55. Pp. 245-248.
- [29]. Talefirouz D., Cokca E., Omer J. Use of granulated blast furnace slag and lime in cement-bentonite slurry wall construction. International journal of geotechnical engineering. 2016. 10. 1. Pp. 81-85.
- [30]. Parkers J. Slurry walls, tiebacks, and tiedowns: Maximizing the efficiency of underground station space. ITA-AITES World Tunnel Congress. 2016. No. Pp. 2024-2034.
- [31]. Royal A.C.D., Makhover Y., Moshirian S., Hesami D. Investigation of Cement-Bentonite Slurry Samples Containing PFA in the USC and Triaxial Apparatus. Geotechnical and Geological Engineering. 2013. No. Pp. 767-781.
- [32]. Angulo-Ibanez Q., Mas-Tomas A., Galvan-Llopis V., Santolaria-Montesinos J.L. Traditional braces of earth constructions. Construction and Building Materials. 2012. No. Pp. 389-399.
- [Numerical simulation of adjoining development's technology settlement in process of trench slurry wall construction]. Vestnik MGSU. 2010. No. 4 (4). Pp. 37-43. (rus)
- [23]. Margolin V.M. Metod rascheta protivofil'tratsionnykh konstruksiy s uchetom nachal'nogo gradienta fil'tratsii, vozvodimykh sposobom «stena v grunte» [Method of calculation of ground water cutoff structures]. Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo otkrytogo universiteta. Moskva. Seriya: Tekhnika i tekhnologiya. 2010. No. 2. Pp. 17-22. (rus)
- [24]. Bobylev N., Sterling R. Urban underground space: A growing imperative Perspectives and current research in planning and design for underground space use. Tunnelling and underground space technology. 2016. 55. Pp. 1-4.
- [25]. Hunt D. V. L., Makana L. O., Jefferson I. Liveable cities and urban underground space. Tunnelling and underground space technology. 2016. 55. Pp. 8-20.
- [26]. Li XiaoZhao, Li Congcong, Aurele P. Multiple resources and their sustainable development in Urban Underground Space. Tunnelling and underground space technology. 2016. 55. Pp. 59-66.
- [27]. Admiraal H., Cornaro A. Why underground space should be included in urban planning policy - And how this will enhance an urban underground future. Tunnelling and underground space technology. 2016. 55. Pp. 214-220.
- [28]. Broere W. Urban underground space: Solving the problems of today's cities. Tunnelling and underground space technology. 2016. 55. Pp. 245-248.
- [29]. Talefirouz D., Cokca E., Omer J. Use of granulated blast furnace slag and lime in cement-bentonite slurry wall construction. International journal of geotechnical engineering. 2016. 10. 1. Pp. 81-85.
- [30]. Parkers J. Slurry walls, tiebacks, and tiedowns: Maximizing the efficiency of underground station space. ITA-AITES World Tunnel Congress. 2016. No. Pp. 2024-2034.
- [31]. Royal A.C.D., Makhover Y., Moshirian S., Hesami D. Investigation of Cement-Bentonite Slurry Samples Containing PFA in the USC and Triaxial Apparatus. Geotechnical and Geological Engineering. 2013. No. Pp. 767-781.
- [32]. Angulo-Ibanez Q., Mas-Tomas A., Galvan-Llopis V., Santolaria-Montesinos J.L. Traditional braces of earth constructions. Construction and Building Materials. 2012. No. Pp. 389-399

**Надточий Н. С., Любомирский А. В.,
Технология «стена в грунте» в подземном
строительстве // Alfabuild. 2018. №1 (3).
С. 46-54**

**Nadtochii N.S., Lyubomirskiy A.V. Technology «slurry
wall» in underground construction. Alfabuild, 2018,
1(3), Pp. 46-54(rus)**

Technology «slurry wall» in underground construction

N.S. Nadtochii ^{1*} A.V. Lyubomirskiy ²

^{1,2} Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia

Article info

review article

Abstract

Nowadays it is observed overpopulation of the large cities. That entails shortage of the space. This is the main problem of modern megalopolises. This problem requires a serious approach for finding its safe solution. The successful use of "slurry wall" technology helps in underground construction. The purpose of the article is to revealing the advantages and disadvantages of technology "slurry wall". In the theoretical part of the study the main issue was classification of construction technologies, and also its advantages and disadvantages. Based on the analysis of scientific articles considered the classification of technologies, there are 2 methods of making a monolithic reinforcement wall: a dry process and a wet way. The recommendations made as a result of this study have been implemented decrease in negative impact on the environment – this is the main shortcoming of "slurry wall".

Keywords:

slurry wall, construction technologies, underground construction, buildings, materials properties, reinforcement, supporting structures, geology

Corresponding author:

- 1*. +7(999)5165092, Nekitmusicant98@yandex.ru (Nadtochii Nikita, Student)
2. +7(911)1446896, tsap.vasia@yandex.ru (Lyubomirskiy Arseniy, Student)