

Заключение

В результате проведённого исследования был выполнен анализ существующих практик решения задач живучести в вопросах поведения несущих конструкций здания после отказа их элементов при сейсмическом воздействии. Предложен алгоритм и представлен пример расчёта

многоэтажного здания стеновой конструктивной системы на прогрессирующее обрушение, демонстрирующий изменения напряжённо-деформированного состояния его несущих конструкций при последовательном отказе стен первого этажа. Показан процесс изменения несущей способности конструкций на каждом этапе расчёта.

Список литературы

1. Колчунов В.И. Некоторые проблемы живучести железобетонных конструктивных систем при аварийных воздействиях / В. И. Колчунов, Н. В. Федорова // Вестник НИЦ «Строительство». – 2018. – 1(16). – С. 115-119
2. ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований.
3. СП-296.1325800.2017 Здания и сооружения. Особые воздействия.
4. СП-14.13330.2018 Строительство в сейсмических районах
5. СП-385.1325800.2018 Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения.
6. Расчет строительных конструкций на прогрессирующее обрушение: нормативные требования / И. И. Ведяков, П. Г. Еремеев, П. Д. Одесский [и др.] // Промышленное и гражданское строительство. – 2019. – № 4. – С. 16-24. – DOI 10.33622/0869-7019.2019.04.16-24.
7. Перельмутер А. В. Прогрессирующее обрушение и методология проектирования конструкций // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2004. № 6. С. 17–21.
8. Перельмутер А. В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций. М. : Издательство АСВ, 2007. 256 с.
9. Воронкова, Г. В. Особенности реконструкции ферм покрытия с изменением расчетной схемы в условиях действующего предприятия / Г. В. Воронкова, Е. В. Гурова, Г. М. Карасев // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2017. – № 48(67). – С. 27-37.
10. Мониторинг разрушения и обмеления водных объектов, берегоукрепительных сооружений в дельте реки Волги в рамках программы "Экология безопасного строительства" / Т. В. Золина, С. П. Стрелков, Н. В. Купчикова [и др.] // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2020. – Т. 47. – № 4. – С. 132-140. – DOI 10.21822/2073-6185-2020-47-4-132-140.
11. Расторгуев Б.С. Обеспечение живучести зданий при особых динамических воздействиях // Сейсмостойкое Строительство. Безопасность Сооружений, 2003, №4, С.45 -48.
12. Стрелецкий Н. С. Избранные труды / сост. Е. И. Беленя, Н. Н. Стрелецкий, Н. П. Мельников и др. ; под ред. Е. И. Беленя. М., Стройиздат, 1975. 422 с.
13. Алмазов В.О. Сопротивление прогрессирующему разрушению. Расчеты и конструктивные мероприятия. /В.О. Алмазов // Вестник ЦНИИСК 2009 б/н. С. 179-193.
14. Алмазов В.О. Динамика прогрессирующего обрушения монолитных многоэтажных каркасов: Монография / В.О. Алмазов, Као Зуй Кхой. – М.: Издательство АСВ, 2013.-128 с.
15. Алмазов В.О. Проблемы прогрессирующего разрушения / Алмазов В.О. // Строительство и реконструкция. Научно-технический журнал. 2014 № 6 (56). С. 3-11.
16. Мкртычев О.В., Райзер В.Д. Теория надежности в проектировании строительных конструкций. М. : Издательство АСВ, 2016. 908 с.
17. Лепешкина Д.О. Прогрессирующее обрушение в областях высокой сейсмической активности с применением PushoverAnalysis / Д.О. Лепешкина // Alfabuild 2017 № 2(2) С. 45-48.

© С. С. Рекунов, А. Ю. Косова, С. Ю. Иванов, И. С. Завьялов

Ссылка для цитирования:

Рекунов С. С., Косова А. Ю., Иванов С. Ю., Завьялов И. С. Расчёт многоэтажного здания на прогрессирующее обрушение при сейсмическом воздействии // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2021. № 3 (36). С. 15–20.

УДК 624.138

DOI 10.52684/2312-3702-2021-36-2-20-25

МЕТОДЫ ТЕРМИЧЕСКОГО УКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ

К. Г. Кондрашин¹, В. Н. Пилипенко², Е. М. Голубничева¹

¹Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Россия;

²Астраханский государственный университет, г. Астрахань, Россия

В практике строительства на лёссах и лёссовых грунтах известны многочисленные случаи значительных и неравномерных осадок фундаментов зданий и сооружений вследствие способности просадочных грунтов значительно уменьшаться в объеме (уплотняться) при увлажнении, что вызывает опасные и часто аварийные деформации, а иногда и полное разрушение этих сооружений. Термические способы укрепления лёссовых грунтов позволяют полностью ликвидировать их просадочные свойства и одновременно повысить несущую способность грунтов на глубину до 10–15 м. В данной статье рассматриваются физико-химические реакции грунта при пиролизе углеводородов. Исследуются несколько применяемых методов, их положительные и отрицательные моменты, возможность комбинирования методов и применение различного сырья для пиролиза. Особое внимание уделено лёссовидным - просадочным грунтам.

Ключевые слова: термическое укрепление, лёссовидные грунты, процессы, способы.

METHODS OF THERMAL STRENGTHENING OF SOILS**K. G. Kondrashin¹, V. N. Pilipenko², E. M. Golubnicheva¹**¹*Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Astrakhan, Russia;*²*Astrakhan State University, Astrakhan, Russia*

In the practice of construction on loess and loess soils, there are numerous cases of significant and uneven settlement of the foundations of buildings and structures due to the ability of subsidence soils to significantly decrease in volume (compaction) when moistened, which causes dangerous and often emergency deformations, and sometimes complete destruction of these structures. Thermal methods of strengthening loess soils make it possible to completely eliminate their subsidence properties and at the same time increase the bearing capacity of soils to a depth of 10–15 m.

Keywords: *thermal strengthening, loess soils, processes, methods.*

Исследуя массовые строительства зданий и сооружений на территории Северного Кавказа и Крыма, были установлены факторы осложнения работ – лёссовые просадочные грунты, которые в степной их части распространены практически повсеместно, а в предгорных районах встречаются локально на равнинных, удобных для строительства участках. [2].

Известно множество способов химического и физического укрепления слабых грунтов [1, 3, 4, 5, 9, 10], однако о термическом способе известно немного.

Под термическим укреплением понимают изменение механических свойств грунтов в результате воздействия на них высоких температур в течение некоторого времени [7, 8]. Термическое укрепление просадочных лёссов и лёссовых суглинков можно производить двумя способами.

Первые исследования в разработке термического способа глубинного укрепления грунтов были начаты канд. техн. наук Н. А. Осташевым. Способ Осташева заключается в нагнетании под давлением через жаропрочные трубопроводы и скважины в грунт воздуха, нагретого до 300–500 °С, с помощью стационарных или передвижных установок.

А. А. Стороженко предложил обработку грунтов проводить при температуре 700° С и давлении 1,5–1,8 атм. ($1,47 \cdot 10^6$ – $1,76 \cdot 10^6$ н/м²). Такое термическое упрочнение грунта можно проводить до глубины 5 м.

Второй способ термического укрепления лёссовых просадочных грунтов, разработанный в Южном научно-исследовательском институте по строительству и предложенный Й. М. Литвиновым, основан на термической и термохимической обработке грунта горячими газообразными продуктами горения. При этом топливо (газообразное, жидкое и твердое) сжигается в специальной камере у устья скважины либо в самой скважине под давлением 0,15–0,5 атм. ($1,47 \cdot 10^4$ – $4,9 \cdot 10^4$ н/м²). Газы, нагретые до высоких температур, распространяются под давлением по порам и трещинам, нагревают массив грунта и выходят охлажденными на поверхность. В процессе нагревания при избыточном давлении в грунте происходят сложные химические процессы.

Второй способ термического укрепления грунтов более эффективен и экономичен.

В МИСИ им. В. В. Куйбышева созданы специальные установки, работающие на различном топливе: горючем газе – естественном, коксовом и пр.; жидком горючем; тяжелом горючем – масле, нефти и пр.; легком высокооктановом – керосине, бензине и пр.; на твердом горючем – коксе, буром угле и пр.

По данным И.М. Литвинова, применять термический способ глубинного укрепления грунтов технически и экономически целесообразно:

- а) для укрепления просадочных грунтов оснований возводимых зданий и сооружений;
- б) для ликвидации аварийного состояния различных зданий и сооружений, возникшего в результате проявления просадки;
- в) для борьбы с оползневыми процессами и в ряде других случаев.

На практике термическая обработка грунтов производится при непосредственном сжигании горючих газов или жидкости в пробуренных скважинах диаметром 100–200 мм. В результате термообработки получается укрепленный столб грунта.

Большой интерес представляет вопрос о форме термически укрепленного массива в зависимости от инженерно-геологических свойств грунтов и применяемого оборудования. Существует два крайних случая.

1. Укрепляемая толща сложена грунтами с постоянными по глубине коэффициентом проницаемости K_0 и влажностью W . Исходя из условий постоянства по глубине избыточного давления $P_{изб}$ и коэффициента проницаемости K_0 , расходуется тепло по стволу скважины равномерно, и, следовательно, массив из термически укрепленного грунта будет иметь примерно форму цилиндра, несколько сужающегося глубиной из-за увеличения затрат тепла на испарение влаги и уменьшения p/l . Такая форма укрепленного грунтостолба, с точки зрения передачи нагрузки от фундамента сооружения к основанию, вполне приемлема.

2. Укрепляемая толща сложена грунтами с резко меняющимися по глубине значениями коэффициента проницаемости K_0 и влажностью W (K_0 – уменьшается с глубиной, а W – увеличивается).

В этом случае при укреплении грунта одновременно по всей скважине газопроницаемость продуктов горения пропорциональна коэффициенту проницаемости отдельных слоев укрепляемой толщи. С другой стороны, количество тепла

Q , необходимое для грунта, прямо зависит от его влажности. Следовательно, при увеличении влажности с глубиной $Q_1 < Q_2 < Q_3 \dots < Q$, что приводит к более резкому изменению по глубине формы термически укрепленного грунтостолба. Он будет представлять собой усеченный конус с основанием на поверхности (рис. 1).

Такая форма не удовлетворяет условиям передачи нагрузки от фундамента на нижележащие слои грунта. Но и при таких условиях способ термического укрепления Литвинова, несколько усовершенствованный институтом «Фундаментпроект», позволяет скорректировать форму грунтостолба с помощью специального устройства.

Суть усовершенствования заключается в том, что последнее нижнее звено регулятора пламени на необходимой глубине, установленной по данным естественной влажности и коэффициента проницаемости, обматывается асбестовым шнуром. Обмотка из асбеста служит сальником, отделяющим грунт обожженной зоны от участков скважины, которые находятся выше, вне действия высокотемпературных газов.

Изменяя давление избыточного воздуха, доводят его до такого состояния, при котором горение происходит ниже регулятора. Таким образом достигается циркуляция раскаленных продуктов горения на заданных участках скважины. Этот способ позволяет получить цилиндрическую и расширенную книзу форму укрепленного грунтостолба, то есть наиболее выгодную форму с точки зрения передачи нагрузки фундаментом здания на основание.

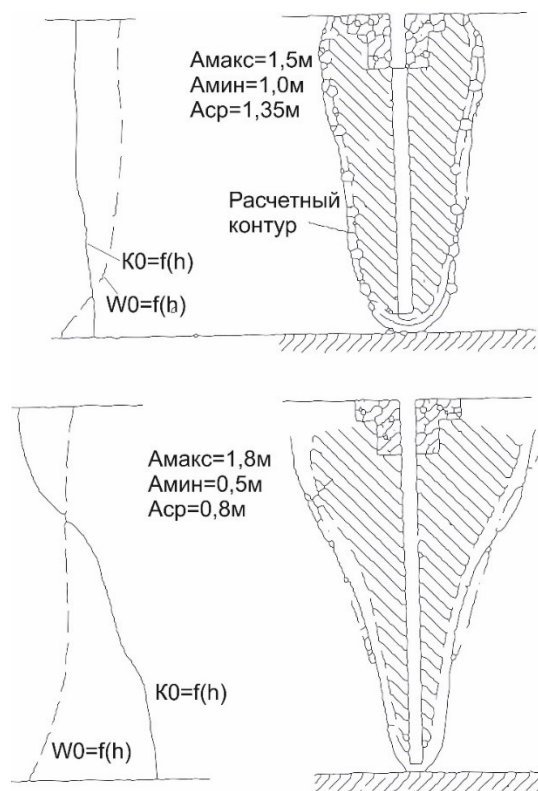


Рис. 1. Схема возможных форм термически укрепленного массива грунта

На основании наблюдений за осадками зданий и сооружений, возведенных на термически укрепленных просадочных грунтах, можно сделать заключение, что термическую обработку следует производить до подстилающего слоя непросадочных грунтов. «Висячие столбы» термически укрепленных грунтов создавать нецелесообразно, ибо не исключена возможность просадки фундаментов при замачивании грунтов, залегающих в основании грунтостолбов.

Возможность применения способа термического упрочнения обычных глинистых грунтов исследовал И.М. Тюрин (1964). Опыты проводились над пылеватыми суглинками из окрестностей Хабаровска. Всего в лабораторных условиях было испытано 200 образцов. На основании данных опытов Тюрин сделал следующие выводы:

1. У суглинков, прогретых до температуры 200 °С, значительных изменений по сравнению с естественными грунтами не наблюдается. Некоторое улучшение инженерно-геологических свойств происходит при нагревании суглинков до температуры 300 °С.

2. Переломной является температура нагревания суглинков до 400 °С, при которой существенно улучшаются все прочностные и влажностные характеристики.

3. В интервале 500–1000 °С обожженные суглинки переходят в полускальное состояние с высокими прочностными показателями.

Если в процессе обжига грунта в скважины вводятся химические добавки в твердом, пылевидном, жидком или газообразном состоянии, то этим достигается термохимическое упрочнение грунтов.

Термические процессы в лёссовидных грунтах

В литературе процессам, возникающим при термической обработке лёссовых просадочных грунтов, уделено недостаточно внимания, хотя познание их сути и последовательности позволило бы более эффективно управлять термохимическими процессами укрепления.

Изменение состава и свойств лёссовых грунтов при их термообработке происходит последовательно в интервале определенных температур. Это позволяет выделить следующие термозоны:

- прогрева,
- потери пластичности,
- дегидратации,
- дегидратации и декарбонизации,
- спекания и плавления.

Оценивая принципиально правильный подход к выделению указанных зон, отметим при этом некоторые недостатки. По сути, первую зону правильнее было бы назвать не зоной прогрева, а зоной потери свободной воды.

Вторая зона – зона потери пластичности. «Исходя из современных представлений о природе взаимодействия глинистых частиц с водой, считают, что пластичные свойства глинистых

пород проявляются при наличии вокруг частиц гидратно-ионной оболочки».

Как известно, эта оболочка образуется связанной водой (в трактовке Р.И. Злочевской), то есть водой гигроскопической и пленочной. Удаление связанной воды в основном происходит при температурах около 60–70 °С, однако процесс полного удаления заканчивается при температурах 200–300 °С. Кроме связанной воды, в этой термозоне значительная часть энергии расходуется на удаление кристаллохимической (кристаллизационной) воды. Как показывают термограммы, гипс, содержание которого в лёссовых грунтах довольно высокое (в Средней Азии – до 744 мл/г, в Европейской части РСФСР – от 6 до 521 мл/г, на Украине – до 280 мл/г), начинает терять воду при 80–90 °С, а при температурах 120–140 °С полностью переходит в полугидрат.

Первая эндотермическая реакция монтмориллонита, связанная с потерей межслойной воды, очень интенсивна и протекает между 100–250 °С, имея максимум около 150–180 °С. Предположительно значительное количество воды выделяется при температуре 100–200 °С.

Тонкодисперсный каолинит, особенно в присутствии галлуазита, бейделита или монтмориллонита (характерные ассоциации глинистых минералов лёссовых грунтов), содержит низкотемпературную воду, которая выделяется до 150 °С. Примерно в этом же интервале температур (120–160 °С) наблюдается и первая эндотермическая реакция у гидрослюд, которая соответствует потере межслойной воды.

Галлуазит имеет те же интенсивные эндо- и экзотермические реакции, что и каолинит, и, кроме того, одну низкотемпературную эндотермическую реакцию, как и тонкодисперсные каолинитовые глины, связанную с потерей межслойной воды. У водного галлуазита эта реакция интенсивна, у маловодной формы – она менее интенсивна или отсутствует.

Таким образом, для второй термозоны (интервал температур 100–300 °С) характерным является потеря связанной воды, обуславливающей пластичные свойства грунтов; и частичная потеря кристаллохимической воды всеми основными глинистыми минералами. Поэтому вторую термозону (100–300 °С) правильнее было бы назвать зоной потери пластичности и начала дегидратации.

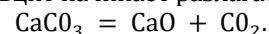
Вторая эндотермическая реакция для монтмориллонита, связанная с потерей OH^- воды решетки и разрушением последней, хотя начинается около 400–500 °С, максимум имеет в интервале температур 500–700 °С. Полная дегидратация монтмориллонита наступает при 800 °С.

Большая часть воды из каолинита выделяется также в пределах 400–525 °С. Температура начала удаления OH^- воды решетки понижается с уменьшением размеров частиц каолинита.

После дегидратации при 600 °С каолинит, хорошо окристаллизованный, медленно поглощает заметное количество OH^- воды, что указывает на сохранение при этой температуре остатков структуры. Подобная картина наблюдается и у гидрослюд. Вторая гидротермическая реакция начинается в интервале от 450 до 500 °С и имеет максимум в пределах 550–650 °С. При этом происходит потеря OH^- воды решетки и частично начинает изменяться структура. Кварц при температуре 573 °С переходит в β -кварц.

Основными особенностями третьей термозоны (интервал температур 300–700 °С) являются почти полная дегидратация глинистых минералов и разрушение кристаллических решеток большинства из них. Столь существенные изменения в структуре многих минералов не могут не сказываться на инженерно-геологических свойствах грунтов. По литературным данным установлено, что, начиная примерно с температуры 350 °С, происходит заметное снижение просадочных свойств и пучинности лёссовых грунтов. Прочность грунтов на одноосное сжатие составляет 4–6 кгс/см². По данным И.М. Литвинова, нагретые до 400–600 °С лёссовые грунты, получившие розовато-красную окраску, показали надежную водоустойчивость и полностью сохраняют свою структуру, находясь в воде более 6 лет; коэффициент просадочности у них снизился до 0,0057–0,0001, то есть уменьшился в 20–80 раз, что свидетельствует о ликвидации их просадочных свойств. Прочность грунта при одноосном сжатии повысилась до 10 кгс/см².

Более сложные и глубокие преобразования в минеральной части грунтов происходят в четвертой термозоне (интервал температур от 600 до 1000 °С). Суть этих изменений проследим на кальците и каолините. При повышении температуры до 800 °С кальцит начинает разлагаться:



При 800 °С процесс диссоциации карбоната кальция протекает чрезвычайно медленно, но с повышением температуры скорость его возрастает. Кальцит быстро и полно диссоциирует при 1000 °С.

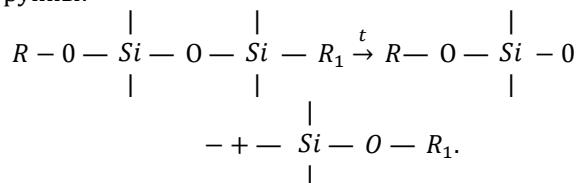
О природе вещества, которое образуется при нагревании каолина, имеется несколько мнений. Одна группа ученых (П.А. Земятченский, В.Г. Самойлов, П.П. Будников, О.П. Мчедалов-Петросян), развивая идеи В.И. Вернадского, считает, что в промежуточном состоянии образуется метакаолин. Другие исследователи (И.М. Соколов, Д.С. Белянкин, Э.К. Келлер, М.Ф. Викулова) полагают, что при нагревании каолин распадается на оксиды Al_2O_3 и SiO_2 .

Несколько по-иному рассматривает эти процессы Ю.С. Черкинский.

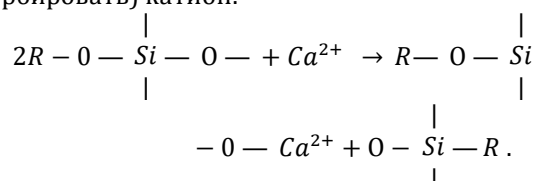
В интервале температур 900–1000 °С происходит быстрая перегруппировка силоксанных

радикалов и их полимеризация. Вот как описывает этот процесс Ю.С. Черкинский:

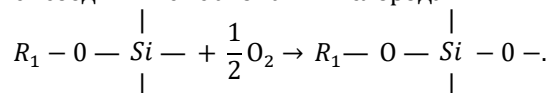
«Полнейлоксанный блок каолинита при этой температуре подвергается деструкции. Разрыв силоксанной связи при высокой температуре – термическая деполимеризация в присутствии ионов Са-ионов и кислорода – приводит к образованию отрицательно заряженной ионогенной группы:



Эта ионогенная группа стремится «поймать» (сорбировать) катион:



Для активного атома кремния Si самое важное – восстановить свое тетраэдрическое кислородное окружение. Поэтому свободный радикал стремится соединиться с атомами кислорода:



Процесс деструкции и усвоения иона кальция начинается при температуре 1000–1200 °С по схеме:



Полученный ортосиликат кальция не что иное, как белитовый цемент. Это является подтверждением выводов С.С. Морозова о том, что при воздействии высоких температур на карбонатные и глинистые минералы лессовых

грунтов в них образуются новые вещества, обладающие гидравлическими свойствами. Поэтому термически образованные лессовые грунты не только не снижают своей прочности при последующем их увлажнении, а, наоборот, увеличивают прочность и водоустойчивость во времени. В этой термозоне грунты приобретают кирпично-красную окраску, высокую водостойкость, коэффициент просадочности дополнительно снижается до 0,004–0,000. Прочность грунтов на сжатие повышается до 40 кгс/см².

При повышении температуры до 1200 °С и выше (зона спекания) происходит плавление грунта, то есть наступает стадия ионного раствора, хотя жидкая фаза и не является совершенным жидким раствором, ее скорее всего можно представить как ионный раствор, «загущенный» полиалюмосиликатами. Количество и вязкость жидкой фазы зависит от температуры и минерального состава грунта. Такое состояние расплава является благоприятным для внедрения между мономерными силокеанскими группами ионов кальция и кислорода, в результате чего, по мнению Ю.С. Черкинского и О.М. Андреевой, и происходит образование основного ортосиликата (Ca²SiO⁴*CaO) и трехкальциевого алюмината (3Ca*Al₂O₃). Но в результате оплывания стенок скважины нагрев грунта путем конвекции прекращается.

Не стоит забывать о необходимости инженерно-экологических изысканий под строительство, которые выполняются для оценки современного состояния и прогноза возможных изменений окружающей природной среды под влиянием антропогенной нагрузки с целью предотвращения, минимизации или ликвидации вредных и нежелательных экологических и связанных с ними социальных, экономических и других последствий и сохранения оптимальных условий жизни населения. [6].

Список литературы

1. Вуд Д., Туати А., Абдель-Хади А., Аслетт Д., Делафилд Ф., Калфи У., Сильвестри Э., Серр Ш., Микельсен Л., Томлинсон К., Микелонис Э. Обеззараживание почвы, загрязненной на поверхности спорами *Bacillus anthracis*, методом сухой термической обработки // Журнал экологического менеджмента. Том 280, 15 февраля 2021. С.111-117.
2. Галай Б.Ф., Сербин В.В., Плахтюкова В.С., Галай О.Б. Лёссовые грунты Северного Кавказа и Крыма (сравнительный анализ) // Наука. Инновации. Технологии. 2017. С. 25-27.
3. Ефименко В.Н., Чарыков Ю.М. Перспективы развития электротермической геотехнологии преобразования грунтов в дорожном строительстве // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. С. 34-36.
4. Игошева Л.А., Гришина А.С. Обзор основных методов укрепления грунтов основания // Construction and Geotechnics. 2016.
5. Кахаров З.В. Укрепления основания фундаментов методом закрепления грунтов инъекцией растворов // Глобус: технические науки. 2019. С. 49-51.
6. Кондрашин К.Г., Ушакова Е.Н., Карабаева А.З. Предварительный прогноз возможного воздействия строительства и эксплуатации проектируемых сооружений на окружающую среду, предложения к программе экологического мониторинга // АГАСУ статья в сборнике трудов конференции. 2020. С. 382-387.
7. Cheng Q., Zhou C., Ng C.W.W., Tang C.S. Влияние структуры грунта на термическое размягчение предела текучести // Инженерная геология. Том 269, май 2020. С.55-59.
8. Estabragh A.R., Babalar M., Javadi A.A., Afsaria E. Влияние тепловых и поверхностно-активных обработок на геотехнические свойства связного грунта // Международный журнал механических наук. Том 144, Август 2018. С. 909-918.
9. Lin H., Liu F.Y., Lourenço S.D.N., Schwantes G., Trumpf S., Holohan D., Beckett C.T.S. Стабилизация земляного материала тунговым маслом: уплотнение, повышение прочности и гидрофобности // Строительство и Стройматериалы. Том 290, 5 июля 2021. С. 123-128.
10. Sai-Nikhil P., Ravichandran P.T., Divya K. Стабилизация и характеристика грунта с использованием волластонитового порошка // Материалы сегодня (труды). Том 40, Дополнение 1, 2021. С161-166.

Ссылка для цитирования:

Кондрашин К. Г., Пилипенко В. Н., Голубничева Е. М. Возможность термического укрепления грунтов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астра-ханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2021. № 2 (36). С. 20–25.

УДК 628.5

DOI 10.52684/2312-3702-2021-36-2-25-28

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БИОХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ГАЗОВ
В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ ПЕРЕКРЫТЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ СТОЧНЫХ ВОД****В. Ю. Белоусова¹, Н. В. Кондакова², С. Н. Резникова³, Н. С. Серпокрялов²**¹Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия;²Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия;³Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

Представлены результаты исследования газовых выбросов от перекрытых очистных сооружений сточных вод. В ходе эксперимента были выявлены высокие концентрации диоксида серы. Был проведен анализ методов по снижению концентрации загрязняющих веществ в воздухе рабочей от станции аэрации. Предлагается использовать биохимическую очистку с помощью биофильтра с загрузкой из коры и биогумуса. Была сконструирована модель установки. Для определения технологических параметров работы биофильтра рассмотрены разные виды комбинации (по высоте, увлажнению, размеру фракций) носителя биомассы и поддерживающего слоя из щебня, определено эффективное время обработки газовой смеси. Установлено снижение диоксида серы, сероводорода, формальдегида. Приведены дополнительные преимущества применённого биологически активного фильтрующего материала.

Ключевые слова: биохимическая очистка газов, воздух рабочей зоны, диоксид серы, сточная вода, биофильтр, кора, перекрытые очистные сооружения.

**EXPERIMENTAL STUDIES OF BIOCHEMICAL GAS TREATMENT IN THE WORKING AREA
OF CLOSED WASTEWATER TREATMENT PLANTS****V. Yu. Belousova¹, N. V. Kondakova², S. N. Reznikova³, N. S. Serpokrilov²**¹Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU), St. Petersburg, Russia;²South-Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov, Novocherkassk, Russia;³Don State Technical University, Rosvov-on-Don, Russia

The results of the study of gas emissions from blocked wastewater treatment plants are presented. During the experiment, high concentrations of sulfur dioxide were detected. The analysis of methods for reducing the concentration of pollutants in the air of the working area of the aeration station was carried out. It is proposed to use a biochemical purification using a biofilter with a load of bark and biohumus. A model of the installation was constructed. To determine the technological parameters of the biofilter considered different types of combinations (height, moisture, particle size) of the carrier biomass and supporting layer of gravel, the effective processing time of the gas mixture. A decrease in sulfur dioxide, hydrogen sulfide, and formaldehyde was found. Additional advantages of the applied biologically active filter material are given.

Keywords: biochemical purification of gases, the air of the working area, sulphur dioxide, waste water, biofilter, bark, blocked sewage treatment plant.

В современном мире ввиду плотной городской застройки и из соображений экологической безопасности применяют очистные сооружения закрытого типа. Что позволяет сокращать размер санитарно-защитной зоны при близком расположении жилых кварталов. Согласно [1] размер санитарно-защитной зоны от очистных сооружений поверхностного стока открытого типа до жилой территории следует принимать 100 м, закрытого типа – 50 м.

В строительных нормах [2] очистные сооружения закрытого типа определены как подземные в герметичном корпусе. На практике такие сооружения могут возвышаться над поверхностью земли.

Для исследований были выбраны очистные сооружения хозяйственно-бытовых сточных вод, обслуживающие жилой микрорайон «Суворовский» в северной части города Ростов-на-Дону [3].

Технологическая схема канализационных очистных сооружений «Суворовские» (далее – КОС) состоит из следующих частей: блок механической очистки; блок биологической очистки с удалением соединений азота; узел биолого-химического удаления фосфатов; блок доочистки; блок обеззараживания; блок обработки осадков, выполненных формате единого комплекса [4–6].

В ходе наблюдений за работой сооружений было выявлено превышение диоксида серы $SO_2 > 20,0$ мг/м³, при этом ПДК_{SO2} в рабочей зоне составляет 10 мг/м³ [7]. О чём также наглядно свидетельствовали погибшие растения на клумбах, спроектированных над действующими аппаратами и резервуарами (рис. 1а, 1б).

Такие показатели являются условием очистки газовой среды для снижения негативного влияния на здоровье работающего персонала и конструкцию самого здания очистной станции (рис. 2а, 2б).