

Обзор методов стабилизации пучинистых грунтов Кировской области

Р.А. Бехтерев¹, Ю.В. Юркин¹, В.В. Авдонин², А.А. Басалаев²

¹Вятский государственный университет, Киров

²Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева, Саранск

Аннотация: В связи с нарастанием темпов строительства и капитального ремонта автомобильных дорог, возникает необходимость внедрения более экономичных и эффективных технологий. Одной из таких технологий является стабилизация грунтов. В статье проанализированы различные методы и способы стабилизации пучинистых грунтов, а также возможные конструктивные решения по устройству слоя из модифицированного грунта. Кроме того, были приведены механизмы, с помощью которых осуществляется стабилизация, и случаи их применения. В ходе исследования рассмотрены основные типы стабилизирующих добавок, их особенности и принцип действия. По результатам обзора был сделан вывод, что технология стабилизации является одной из самых современных, эффективных и экономически выгодных и дает различные преимущества в сравнение с другими альтернативными методами усиления пучинистых грунтов. Также доказана актуальность данного метода для Кировской области.

Ключевые слова: автомобильная дорога, строительство, технология, стабилизация, грунты, добавки, ресайклер, вяжущие, грунтоцемент, пучинистость, усиление.

Введение

В 2018 году после принятия Транспортной стратегии РФ на период до 2030 года, Правительством РФ было принято решение перейти от экстенсивной к интенсивной модели развития транспортной инфраструктуры страны. Данный переход планируется осуществить за счёт внедрения инновационных технологий, которые позволили бы сократить затраты и уменьшить продолжительность строительства, реконструкции, капитального ремонта объектов транспортной инфраструктуры, а также увеличить срок их службы. В проекте транспортной стратегии одной из приоритетных задач является доведение доли автомобильных дорог регионального значения, находящихся в нормативном состоянии до 50,9% к 2024 году и до 85% к 2030 году [1].

Также в 2019 году в Российской Федерации был разработан и введён в действие национальный проект «Безопасные и качественные дороги» (далее

«БКД»)одними из основных целей, которого являются увеличение количества региональных дорог, соответствующих современным нормативным требованиям, а также внедрение современных и эффективных технологий для строительства, реконструкции и капитального ремонта, автомобильных дорог. Помимо данных целей, приоритетной задачей национального проекта является внедрение и разработка материалов и технических решений повторного применения, которые позволили бы сократить расходы на разработку проектной документации и уменьшить сроки строительства объектов.

Одной из технологий, которая могла бы решить задачи, поставленные в национальном проекте «БКД» и в Транспортной стратегии РФ, является технология стабилизации грунтов основания и земляного полотна автомобильной дороги. Её использование позволяет свести к минимуму использование каменных материалов (щебень), месторождения которых отсутствуют на территории Кировской области.

Также данная технология становится все более актуальной и востребованной после введения в действие новых нормативных документов ПНСТ 542-2021 «Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования» и СП 34.13330.2021 «Автомобильные дороги», в которых определены необходимые случаи стабилизации указаны требования к грунтам основания и земляного полотна автодороги.

Грунты Кировской области

Актуальные исследования грунтов Кировской области были проведены Институтом градостроительства и инвестиционного развития «Гипрогор» (Москва) при сборе данных и разработке генерального плана города Кирова [2].

В региональном отношении территория Кировской области приурочена к восточной части Русской плиты - к северной части Волго-Уральской антеклизы, в пределах северо-западного крыла Вятского вала [2].

При исследовании было установлено преимущественное горизонтальное залегание пород, а также их большая изменчивость в разрезе. В структуре свит выделяются две части: основание и поверхностная часть. Основание зачастую представлено песчаниками с включениями линз других пород. Поверхностная часть представлена глинистыми грунтами с включениями известняков и песчаников.

Основной системой пород, грунты которой залегают в основании автомобильных дорог, в Кировской области является четвертичная система. Отложения, составляющие четвертичную систему, подразделяются на 4 типа: аллювиальные, делювиальные, элювиально-делювиальные и техногенные грунты.

Зачастую грунтами, слагающими данные отложения, являются суглинки и глины, реже супеси и пески.

На территории Кировской области часто встречаются слабые глинистые грунты повышенной влажности.

Грунты, содержащие значительное количество глинистых частиц, имеют изменяющиеся геотехнические характеристики: они набухают и становятся пластичными в присутствии воды, сжимаются при высыхании и расширяются при воздействии мороза[3].

При исследовании грунтов Кировской области обнаружено несколько опасных геологических процессов, влияющих на эксплуатацию и строительство автодорог. Такими процессами являются морозное пучение и подтопление.

Морозное пучение грунтов на автомобильных дорогах Кировской области зачастую проявляется в виде локальных поднятий дорожных одежд, с образованием сетки трещин и выбоин.

В ходе исследования типичных грунтов основания и земляного полотна автодорог Кировской области был проведен анализ проектной документации на их строительство и капитальный ремонт.

Результаты анализа приведены в таблице №1.

Таблица №1

Грунты, залегающие в основании автомобильных дорог Кировской области, и их особенности

№ п/п	Наименование объекта	Грунты, залегающие в основании автодороги	Особенности грунтов
1	2	3	4
1	«Строительство автомобильной дороги к межмуниципальному полигону твердых бытовых отходов для Свечинского и Шабалинского районов Кировской области»	Суглинок тяжелый пылеватый тугопластичный	Слабопучинистый
2	«Строительство автомобильной обьездной дороги с мостовым переходом от ул. Мира до ул. Дорожная в г. Омутнинск Кировской области»	Суглинок тяжелый, прослоями легких, песчанистый полутвердый, комковатый	Пучинистый
3	«Капитальный ремонт автомобильной дороги Р-176 «Вятка» Чебоксары – Йошкар-Ола – Киров –	Суглинок коричневый тяжелый пылеватый тугопластичный	Сильнопучинистый

	Сыктывкар на участке км 140+900 – км 145+000, Кировская область»		
--	--	--	--

	2	3	4
4	«Строительство автомобильной дороги Нема- Колобово в Немском районе Кировской области»	Суглинок серо-коричневый, серый тяжелый пылеватый мягкопластичный с включениями органических веществ	Сильнопучинистый
5	«Капитальный ремонт автомобильной дороги Р-176 «Вятка» Чебоксары - Йошкар-Ола - Киров - Сыктывкар на участке км 484+000 - км 496+000, Кировская область»	Суглинок светло-коричневый тяжелый пылеватый тугопластичный	Сильнопучинистый
6	«Капитальный ремонт автомобильной дороги Киров – Стрижи – Оричи (исправления параметров земляного полотна у д.Катково)»	Суглинок коричневый тяжелый полутвердый, тугопластичный	Пучинистый

В ходе анализа установлено, что типичными грунтами основания и земляного полотна автодорог Кировской области являются суглинки тяжелые тугопластичные. На большинстве объектов были выявлены пучинистые и сильнопучинистые грунты, негативное влияние которых, на

автомобильную дорогу, необходимо исключать с помощью различных методов (стабилизация, полная замена и т.д.).

Методы стабилизации грунтов

Стабилизация грунта – это процесс, при котором в грунт вводят различные добавки, которые улучшают механические свойства грунта [4].

В практике современного зарубежного и отечественного дорожного строительства для получения долговечного конечного материала с улучшенными показателями прочности и морозостойкости вместе со снижением расхода связующих широкое распространение получили химические добавки, которые, по сути, являются стабилизаторами и вводятся в процессе производства работ параллельно с вяжущим компонентом [5]

В ряде работ по изучению стабилизирующих добавок была изучена специфика механизмов взаимодействия компонентов смеси [6-8]

Сущность метода стабилизации грунта состоит в перемешивании исходного грунта с добавками при помощи экскаватора с навесным смесителем или ресайклера с последующим уплотнением стабилизированного грунта катками.

Ресайклер используется для создания слоев стабилизированных и укрепленных грунтов толщиной до 560 мм. Экскаватор с навесным роторным смесителем способен обрабатывать грунты на глубину до 8 м., в зависимости от длины стрелы и типов грунта.

Модифицированные грунты, в зависимости от типа и процентного содержания вносимых добавок принято разделять на 3 группы. Схема классификации модифицированных грунтов представлена на рис.1.

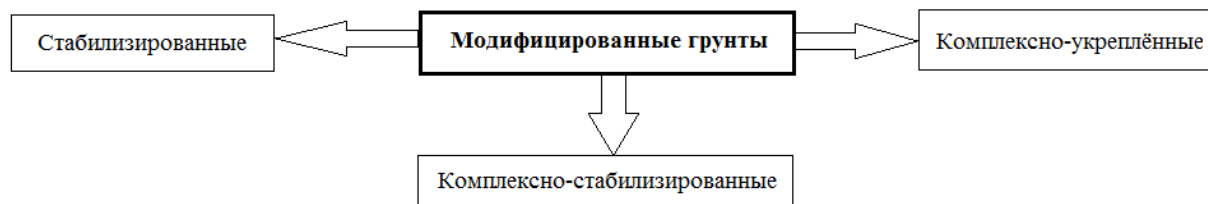


Рис. 1. – Схема классификации модифицированных грунтов

Для стабилизированных грунтов характерно добавление стабилизаторов, не являющихся вяжущими в небольшом количестве.

Комплексно-стабилизированные грунты отличаются добавлением к исходному грунту добавок, которые включают в себя стабилизаторы и вяжущие вещества различных типов, добавляемые в количестве до 2% от веса исходного грунта.

Комплексно-укрепленные грунты получают путем смешивания исходного грунта со стабилизаторами и вяжущими веществами различных типов в количестве более 2% от веса исходного грунта.

Модифицирующие добавки могут вноситься в исходный грунт сухим и влажным методами.

Основное отличие данных методов состоит в различной технологической последовательности производства работ. Сухая смесь добавок подается в ротор ресайклера вместе со сжатым воздухом. Доувлажнение исходного грунта происходит после его смешения с добавками с помощью поливомоечной машины.

При использовании влажного метода, к смесительному ротору подается смесь добавки и воды.

Доведение исходного грунта до оптимальной влажности является ответственным процессом от которого зависят прочностные свойства стабилизированного грунта. Недостаток воды ведет к повышению трения между частицами грунта, которое затрудняет их сближение и снижает прочность грунта. Избыточное увлажнение смеси ведет к появлению

свободной воды, которая после испарения оставляет пустоты в стабилизированном грунте [9].

Выделяют четыре конструктивных решения по устройству слоя модифицированного грунта.

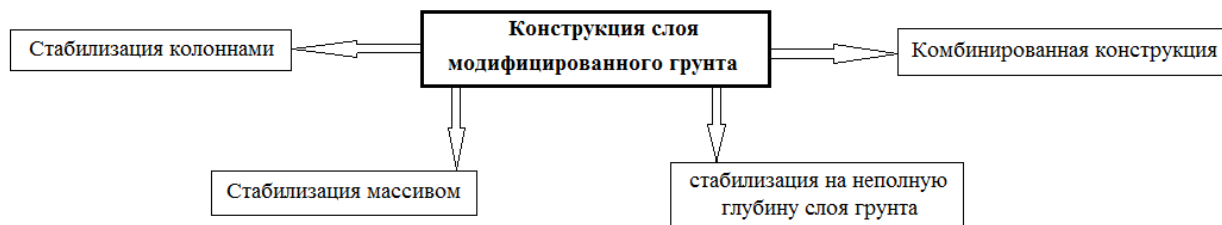


Рис. 2. –Схема конструктивных решений по устройству слоя модифицированного грунта

Метод стабилизации колоннами применяется при толщине слоя грунта от 5 до 25 метров. Данный способ используется для усиления грунтов у малых искусственных сооружений и для усиления заторфованных грунтов на глубоких болотах. Для устройства колонн модифицированного грунта используется экскаватор с навесным роторным смесителем.



Рис. 3. – Схема стабилизации колоннами (СТО СРО 083-029ЕН-2011Разработка и реализация методов стабилизации слабых грунтов органического происхождения. Часть 2. Руководство по проектно-конструкторским работам: Стабилизация слабых грунтов)

Метод стабилизации массивом применяется при толщине слоя грунта до 5 метров. При небольшой толщине массива грунта используется

ресайклер. При стабилизации массива грунта, толщиной более 580 мм экскаватор с навесным роторным смесителем.



Рис. 4. – Схема стабилизации массивом

Метод стабилизации на неполную глубину слоя грунта используется, если под укрепленной толщиной остаётся неукрепленный грунт, у которого процесс консолидации под весом насыпи может завершиться в период строительства (СТО СРО 083-029EN-2011 Разработка и реализация методов стабилизации слабых грунтов органического происхождения. Часть 2. Руководство по проектно-конструкторским работам: Стабилизация слабых грунтов). Разгрузка основания автодороги наступает вследствие равномерного распределения нагрузки от транспорта на грунты основания через монолитную плиту модифицированного грунта. Для осуществления данного метода в большинстве случаев используется ресайклер.

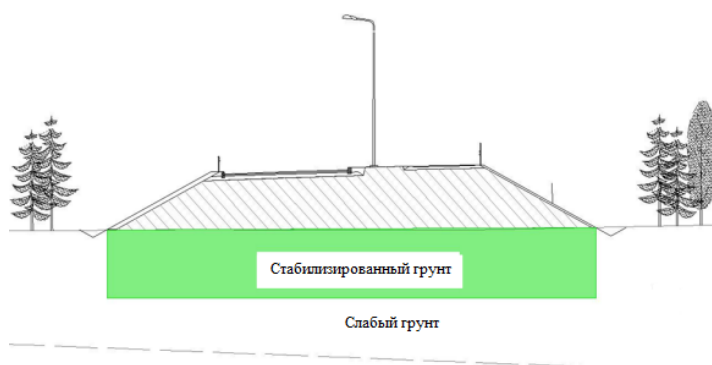


Рис. 4. – Схема стабилизации на неполную глубину слоя грунта

Метод стабилизации комбинированной конструкцией используется если под толщей модифицированного грунта остаётся слой исходного грунта большой толщины. Также данный метод используется при наличии в верхних слоях грунтовой толщи заторфованных или заиленных грунтов.

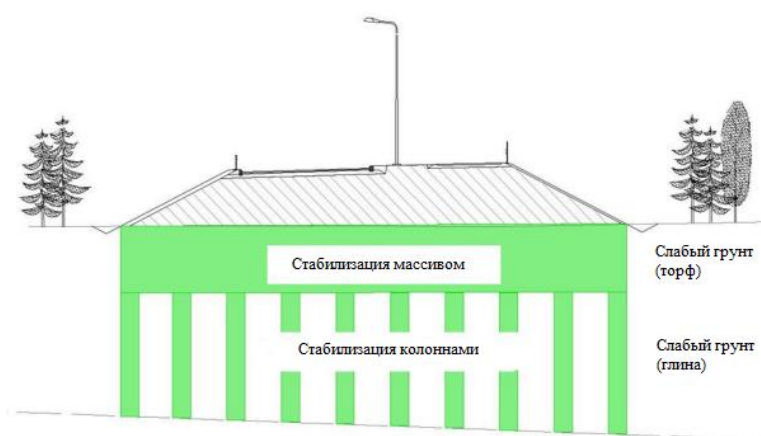


Рис. 5. – Схема стабилизации комбинированной конструкцией

Стабилизирующие добавки и особенности их применения

Стабилизаторы - это многокомпонентные системы, содержащие в своем составе вещества (ПАВ, наночастицы, вяжущие), обладающие свойствами гидрофобизаторов, суперпластификаторов, полимеров и структурообразователей и применяемые в дорожном строительстве для обработки грунтов с целью изменения их водно-физических и физико-механических свойств (ОДМ 218.3.076-2016 Методические рекомендации по подбору стабилизаторов грунтов и грунтовых смесей для дорожного строительства).

Классифицирование стабилизирующих добавок производится по четырем основным признакам: тип стабилизатора, класс стабилизатора, подкласс стабилизатора, вид стабилизатора.

Схема классифицирования стабилизирующих добавок представлена на рис. 6.

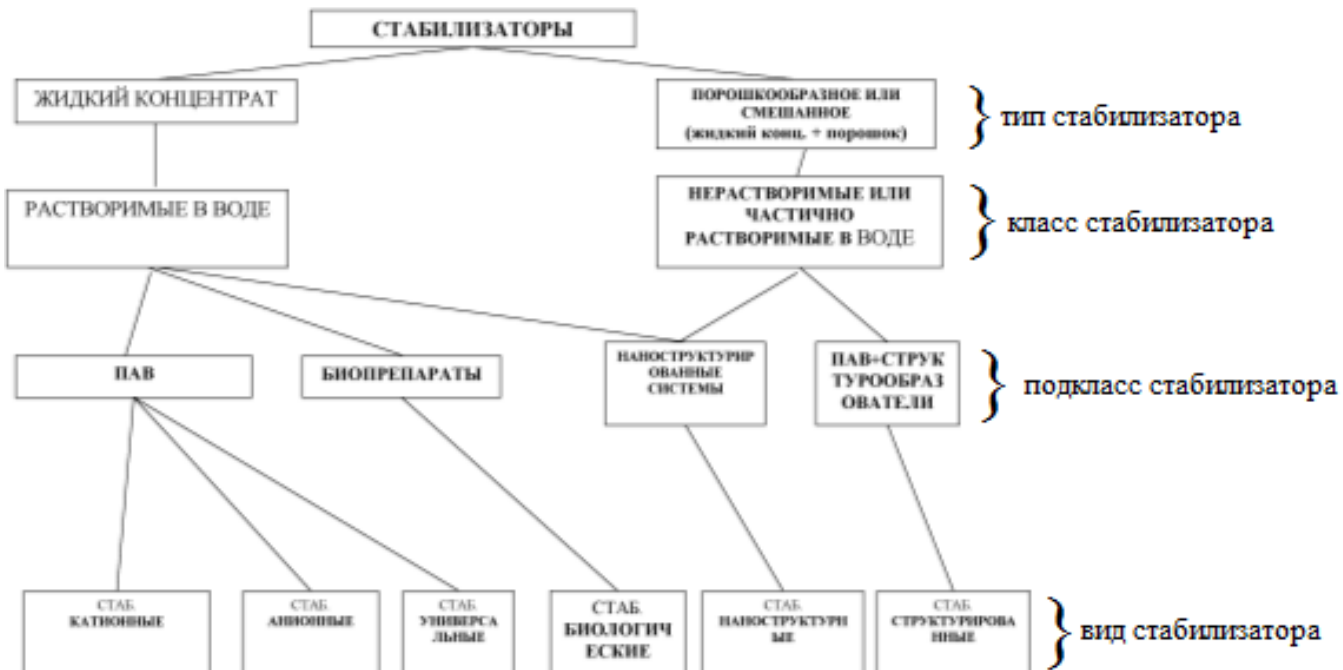


Рис. 6. – Схема классифицирования стабилизирующих добавок

Перед применением определенного типа стабилизатора в обязательном порядке производится проверка его химической совместимости с исходным грунтом.

Для стабилизации грунта также могут использоваться вяжущие вещества различных типов. Схема классификации вяжущих материалов представлена на рис. 7.



Рис. 7. – Схема классификации вяжущих материалов

Основными неорганическими вяжущими, используемыми для стабилизации грунтов, являются: цемент, известь, зола уноса, шлаки, гипс, силикат натрия (жидкое стекло).

В большинстве случаев эти компоненты используются в составе комплексной добавки, так как при их одиночном использовании не достигаются необходимые физико-механические свойства модифицированного грунта.

Основными используемыми неорганическими вяжущими являются цемент и известь. Зола уноса, шлаки, гипс и жидкое стекло используются вместе с основными вяжущими с целью улучшения технических и экологических свойств конечного грунта, а также для снижения затрат на вяжущее.

Одним из распространенных методов стабилизации является смешивание грунта с цементом с образованием продукта, получившего название грунтоцемент. Цемент может быть применен для стабилизации любого типа грунта, за исключением грунтов с содержанием органики более 2% или имеющих рН ниже 5,3[10].

Укрепленные цементом грунты допускается применять для устройства оснований дорожных одежд или основания насыпи автодороги. При этом под действием подвижной нагрузки в цементогрунтовом слое возникают напряжения сжатия и растяжения при изгибе, которые не могут быть основной причиной его разрушения[11].

Использование извести при стабилизации значительно изменяет характеристики грунта для обеспечения долгосрочной постоянной прочности и стабильности, особенно в отношении воздействия воды и низких температур[3].

К органическим вяжущим относятся: битумы нефтяные дорожные жидкие, эмульсии дорожные битумные, битумные пасты, карбамидоформальдегидные смолы, вспененные битумы. Грунты редко

стабилизируют с применением только органических вяжущих, так как стабилизированный грунт получается чрезмерно деформативным и недостаточно водостойким. В добавках с органическими вяжущими также используют активаторы или поверхностно-активные вещества (ПАВ) для улучшения физико-химических свойств грунта и повышения сцепления органического вяжущего с поверхностью частиц грунта.

В последние годы начало набирать популярность использование инновационных стабилизирующих добавок зарубежного и отечественного производства. Такими добавками являются: «Дорзин», «Акропол», «NanoStab», «Дорцем», «Никофлок» и др.

Основной принцип действия стабилизаторов состоит в изменении водофизических свойств грунта, приводящем к повышению плотности, несущей способности и морозостойкости и снижению пучинистости. Несмотря на достаточно большой объем данных по исследованию влияния различных добавок на свойства глинистых грунтов, все же следует отметить отсутствие единообразия данных в отношении конкретной добавки при переходе между видами связных грунтов[12].

В зависимости от типа применяющегося вяжущего и стабилизатора, изменяется технологическая последовательность производства работ по усилению грунта. Варианты схем производства работ в зависимости от типа вяжущего представлены на рис. 8, рис. 9, рис. 10.



Рис. 8. – Схема производства работ при использовании неорганических вяжущих



Рис. 9. – Схема производства работ при использовании органических вяжущих



Рис. 10. – Схема производства работ при использовании комплексных вяжущих

Выводы

В ходе анализа метода стабилизации выявлено, что данный способ усиления грунтов является одним из самых современных, эффективных и экономически выгодных, а также дает различные преимущества в сравнение с другими альтернативными методами усиления грунтов.

При использовании данного метода увеличиваются плотность и несущая способность грунта, снижается набухаемость и степень пучинистости, что особенно важно в климатических условиях Кировской области.

Также актуальность метода стабилизации для Кировской области заключается в отсутствии природных месторождений каменных материалов (щебень), применяемых в дорожном строительстве. За счет исключения затрат на закупку и перевозку данных материалов, метод стабилизации грунтов становится более экономичным и эффективным, чем стандартные методы строительства на связных пучинистых грунтах (полная замена грунта).

Литература

1. Девятов М.М., Тянь В.Ю., Журавлев А.В. Методика оптимизации процесса проектирования дорожных одежд с использованием асфальтогранулята // Инженерный вестник Дона, 2021, №6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2021/7044
 2. Проект генерального плана городского округа муниципального образования «Город Киров» Кировской области. Том 2. Книга 5. Территориальный анализ природных условий и экологического состояния. Охрана окружающей среды. Инженерная защита территории. Современное состояние и развитие инженерной инфраструктуры в области санитарной очистки. – М., 2020. – URL: admkirov.ru/Том%202%20Книга%205%20Территориальный%20анализ.pdf
 3. Negi A.S., Faizan M., Devashish P.S., Rehanjotsingh. Soil stabilization using lime // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. February 2013. Vol. 2, ISSUE 2, pp. 448-453.
 4. Пономарев А.Д., Даляев Н.Ю. Инновационные методы стабилизации и укрепления грунтов. Глубинная стабилизация // Актуальные вопросы в науке и практике: Сборник статей по материалам III международной научно-практической конференции. В 4-х частях, Казань, 04 ноября 2017 года. – Казань: Общество с ограниченной ответственностью Дендра, 2017. – С. 112-116.
 5. Загородных К.С., Кукина О.Б. Анализ проблемы укрепления глинистых грунтов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Студент и наука. 2016. №9. С. 55 – 63.
 6. Newman K., Tingle J.S. Emulsion polymers for soil stabilization // Presented for the 2004 faa worldwide airport technology transfer conference Atlantic City, New Jersey, USA. 2004. URL:
-

airporttech.tc.faa.gov/Products/Airport-Safety-Papers-Publications/Airport-Safety-Detail/ArtMID/3682/ArticleID/1432/Emulsion-Polymers-for-Soil-Stabilization

7. Du Ch., Yang G., Zhang T., Yang Q. Multiscale study of the influence of promoters on low-plasticity clay stabilized with cement-based composites // Construction and Building Materials. Vol. 213. 20 July 2019. P. 537 – 548.

8. Фоменко Е.А., Ольгинский А.Г. Определяющая роль процессов контактообразования в формировании свойств укрепленных грунтов // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. 2006. №34 – 35; С. 43 – 45.

9. Романенко И.И., Романенко М.И., Петровнина И.Н., Пинт Э.М., Еличев К.А. Стабилизация грунта неорганическими вяжущими // Интернет-журнал «Науковедение», 2014, №6. URL: naukovedenie.ru/PDF/44TVN614.pdf

10. Firoozi A.A., GuneyOlgun C., FirooziA.A. Fundamentals of soil stabilization // International Journal of Geo-Engineering. 2017. Vol. 8, ISSUE 1 URL: link.springer.com/article/10.1186/s40703-017-0064-9

11. Никольцев П.К., Войтов М.А., Бестаев В.И, Жирнов К.Ф., Комраков Ю.В. Современные методы строительства автомобильных дорог в болотистой местности // Инженерный вестник Дона, 2020, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2020/6282

12. Дмитриева Т.В., Маркова И.Ю., Строкова В.В., Безродных А.А., Куцына Н.П. Эффективность стабилизаторов различного состава при укреплении грунтов минеральным вяжущим// Строительные материалы и изделия. 2020. Том 3. №1. С. 30 – 38.

References

1. Devjatov M.M., TjanV.Ju, Zhuravlev A.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, №6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2021/7044

2. Proekt general'nogo plana gorodskogo okruga municipal'nogo obrazovaniya «Gorod Kirov» Kirovskoj oblasti. Tom 2. Kniga 5. Territorial'nyj

analiz prirodnyh uslovij i jekologicheskogo sostojanija. Ohrana okruzhajushhej sredy. Inzhenernaja zashhita territorii. Sovremennoe sostojanie i razvitie inzhenernoj infrastruktury v oblasti sanitarnoj ochistki [Electronic resource]. Moskva, 2020. URL: [admkirov.ru/Том%202%20Книга%205%20Территориальный %20анализ.pdf](http://admkirov.ru/Том%202%20Книга%205%20Территориальный%20анализ.pdf)

3. Negi A.S., Faizan M., Devashish P.S., Rehanjotsingh. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. February 2013. Vol. 2, ISSUE 2. pp. 448-453.

4. Ponomarev A.D., DaljaevN.Ju. Aktual'nye voprosy v nauke i praktike: Sbornik statej po materialam III mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. V 4-h chastjah [Topical issues in science and practice: A collection of articles based on the materials of the III International Scientific and Practical Conference. In 4 parts]. Kazan, 2017, pp. 112-116.

5. Zagorodnyh K.S., Kukina O.B. Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Student i nauka. 2016. 9. pp. 55 – 63.

6. Newman K., Tingle J.S. Emulsion polymers for soil stabilization. Presented for the 2004 faa worldwide airport technology transfer conference Atlantic City, New Jersey, USA. 2004.
URL:airporttech.tc.faa.gov/Products/Airport-Safety-Papers-Publications/Airport-Safety-Detail/ArtMID/3682/ArticleID/1432/Emulsion-Polymers-for-Soil-Stabilization

7. Du Ch., Yang G., Zhang T., Yang Q. Construction and Building Materials. 213. 20 July 2019. P. 537 –548.

8. Fomenko E.A., Ol'ginskij A.G. Vestnik Har'kovskogo nacional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta. 2006. pp. 43 – 45.



9. Romanenko I.I., Romanenko M.I., Petrovnina I.N., Pint Je.M., Elichev K.A. Internet-zhurnal «Naukovedenie», 2014, №6. URL: naukovedenie.ru/PDF/44TVN614.pdf
10. Firoozi A.A., GuneyOlgun C., Firoozi A.A. International Journal of Geo-Engineering. 2017. Vol. 8, ISSUE 1. URL: link.springer.com/article/10.1186/s40703-017-0064-9
11. Nikol'cev P.K., Vojtov M.A., Bestaev V.I., Zhirnov K.F., Komrakov Ju.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2020, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2020/6282
12. Dmitrieva T.V., Markova I.Ju., Strokova V.V., Bezrodnyh A.A., Kucyna N.P. Stroitel'nyematerialy i izdelija. 2020. Book 3. №1. pp. 30 – 38.