

Научная статья

DOI: 10.15593/24111678/2023.01.02

УДК 624.138

К.Г. Пугин^{1,2}, И.О. Норин³, А.И. Кетов³

¹Пермский государственный аграрно-технологический университет
имени академика Д.Н. Прянишникова, Пермь, Россия

²Пермский филиал Волжского государственного университета водного транспорта,
Пермь, Россия

³Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия

УЛУЧШЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Большое количество регионов РФ испытывают дефицит качественных каменных материалов, что определяет их высокую стоимость и, как следствие, увеличение стоимости дорожного строительства. Снизить стоимость строительства конструктивных слоев дорожной одежды автомобильных дорог возможно за счет использования в качестве конструктивного слоя укрепленных грунтов из местных материалов. Такой подход позволяет не только снизить стоимость строительства, а также и повысить эксплуатационные качества автомобильной дороги в целом. Показано, что замещение части слоев дорожной одежды укрепленными грунтами приводит к снижению стоимости строительства автомобильных дорог на 15–25 %. Рассмотрено использование минеральных и органических вяжущих для консолидации частиц грунта, особенности возникающих при этом связей. Показано, что с увеличением объемов промышленного производства, расширением номенклатуры крупнотоннажных отходов появилась возможность вовлечения различных отходов (шлаки металлургии и химического производства, золы от сжигания топлива, шламы химических производств и т.п.) в дорожное строительство, при этом возможно эффективно влиять на структурообразование в грунтобетонах. Проведенные предварительные аналитические исследования на кафедре «Автомобильные дороги и мосты» Пермского национального исследовательского политехнического университета показали, что для этих целей можно использовать отходы АО «Березниковский содовый завод», АО «Минерально-химическая компания ЕвроХим», АО «СИБУР-Химпром, ПАО «МЕТАФРАКС»: в мелкодисперсном состоянии отходы данных предприятий можно применять для повышения несущей способности грунта за счет управления химических, физических и механических процессов взаимодействия отходов и грунта. Предварительно проведенные исследования по использованию высокоосновных отходов показали хорошие результаты при укреплении суглинков Березниковского района Пермского края.

Ключевые слова: строительство дорог, грунт, укрепление грунтов, битум, цемент, повышение прочности грунта.

K.G. Pugin^{1,2}, I.O. Norin³, A.I. Ketov³

¹Perm State Agro-Technological University named
after Academician D.N. Pryanishnikov, Perm, Russian Federation

²Volga State Academy of Water Transport, Perm Branch, Perm, Russian Federation

³Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

IMPROVING THE CHARACTERISTICS OF SOILS USED FOR ROAD CONSTRUCTION

A large number of regions of the Russian Federation are experiencing a shortage of high-quality stone materials, which determines their high cost and, as a result, the high cost of road construction. It is possible to reduce the cost of constructing structural layers of pavement for motor roads by using reinforced soils made of local materials as a structural layer. This approach allows not only to reduce the cost of construction, but also to improve the performance of the road as a whole. The article shows that the replacement of part of the pavement layers with reinforced soil leads to a reduction in the cost of roads construction by 15–25 %. The use of mineral and organic binders for the consolidation of soil particles, the features of the bonds arising in this case are considered. It is shown that with the increase in industrial production, the expansion of the range of large-tonnage waste, it became possible to involve various wastes (slags from metallurgy and chemical production, ash from fuel combustion, sludge from chemical production, etc.) in road construction; at the same time it is possible to effectively influence structure formation in soil concrete. The preliminary analytical studies carried out at the Department of

Highways and Bridges of the Perm National Research Polytechnic University showed that for these purposes it is possible to use waste from Berezniki Soda Plant JSC, EuroChem Mineral and Chemical Company JSC, SIBUR-Khimprom JSC, METAFRAX PJSC. In a finely dispersed state, the waste generated at these enterprises can be used to increase the bearing capacity of the soil by controlling the chemical, physical and mechanical processes of interaction between waste and soil. Preliminary studies on the use of high-basic waste showed good results in the strengthening of loams in the Berezniki district of the Perm region.

Keywords: road construction, soil, soil stabilization, bitumen, cement, soil strengthening.

В настоящее время в России наблюдается рост объемов дорожного строительства, что позволяет обеспечить технологическую возможность обеспечения роста грузооборота. Объем перевозок грузов транспортным комплексом России имеет ежегодную тенденцию к росту. По итогам 2021 г. он составил 6,9 млрд т, а грузооборот составил 3042 млрд т-км. Для обеспечения необходимого уровня развития транспортной инфраструктуры приняты государственные программы «Развитие транспортной системы», «Обеспечение государственной безопасности», «Безопасные качественные дороги», «Модернизация и развитие автомобильных дорог Российской Федерации до 2025 года». Для выполнения поставленных в правительственных программах задач, направленных на увеличения сети автомобильных дорог, требуются большие объемы дорожно-строительных материалов и разработка технологий, которые обеспечат снижение стоимости строительства автомобильных дорог и увеличение скорости строительства. Большое количество регионов РФ испытывают дефицит качественных каменных материалов, что определяет их высокую стоимость. В связи с этим одним из перспективных направлений снижения стоимости строительства является использование неорганических и органических вяжущих и стабилизаторов, которые позволяют повысить несущую способность грунта, используемого в нижних слоях дорожной конструкции [1–3]. Использование грунтов в укрепленном состоянии в дорожных одеждах является одним из эффективных методов снижения стоимости строительства автомобильных дорог. С их применением можно достичь снижения стоимости на 15–25 % [4–6].

Территорию Пермского края можно рассматривать как область эффективного использования технологий укрепления грунта при строительстве автомобильных дорог. Это обусловлено наличием большого количества многотоннажных отходов химических, металлургических и горнодобывающих предприятий, складированных на шлакоотвалах и шламохранилищах, способных обеспечить повышение физико-механических характеристик грунта [7–11].

Грунты, являясь природными образованиями, не обладают высокой устойчивостью к внешним нагрузкам, морозостойкостью и водостойкостью. Для успешного их использования для дорожного строительства необходимо придать им прочность и устойчивость к внешним нагрузкам, которые бы не зависели от изменения влажности, температуры и величины внешних нагрузок от транспорта. Для этих целей наиболее широко используются методы, основанные на введении в структуру грунта неорганических и органических вяжущих. В первом случае для консолидации грунта используют цементы и шлаки, во втором битумы и битумные эмульсии. Для придания грунту целенаправленных характеристик используют комбинированное воздействие с использованием ПАВ и других химических реагентов, способных улучшить физико-механические характеристики грунта при его использовании в конструктивном слое автомобильной дороги, увеличить срок эксплуатации и надежность.

Первые опыты обработки грунтов цементом для придания им заданных свойств в России были успешно проведены более ста лет назад. Основоположник метода формирования новых свойств грунтов за счет изучения механики дисперсных тел П.А. Ребиндер раскрыл основные процессы в системе «грунт – вяжущее» [12]. Большой вклад в развитие теории укрепления грунтов внесли В.В. Охотин (изучено дисперсные и минералогические свойства грунтов), М.М. Филатов, С.С. Морозов, В.М. Безрука (изучено основные принципы укрепления грунтов вяжущими), Л.В. Гончарова (представлены основы укрепления грунтов). Более узкими вопросами структурообразования в грунтах при их укреплении в разное время занимались: Л.Н. Ястребова, А.Н. Лысихина – разработка битумогрунтов; И.Л. Гурячков – использование золошла-

ковых материалов; Г.Н. Левчановский – использование извести, Л.Б. Сватовская – применение цемента для получения цементогрунтов, И.Н. Леонович – использование отходов промышленности в грунтовых смесях, В.А. Коммисарова, Н.С. Колбас – применение отходов химической переработки древесины для консолидации грунтов [13].

Широко используемый метод укрепления грунтов цементами, изменение характеристик получаемого цементогрунта при влиянии различных факторов были изучены Л.В. Гончаровой, С.С. Морозовым, А.С. Еленович. Ими установлено влияние кислотности грунта на прочность получаемого цементогрунта. Цементогрунт набирает более высокую прочность при начальной рН грунта более 5,5. Для регулирования кислотности грунта (рН) предложено использовать (дополнительно к цементу) известь (гашеную и молотую негашеную). Для обеспечения морозостойкости и водостойкости получаемого цементогрунта предложено применять гидрофобные компоненты, в том числе хлористый кальций, силикат натрия.

Исследованиями [14–16] установлено, что при добавлении извести в качестве консолидирующего элемента достигаются такие же результаты, что и при использовании цемента. Формирование кристаллизационных структур в грунте позволяет достичь более высокой механической прочности и водостойкости. Это обеспечивается химическими и физическими процессами, протекающими при взаимодействии воды и извести. Вода позволяет произвести перекристаллизацию гидроксида кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ с образованием гидросиликатов кальция (соединения системы $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$), произвести частичную карбонизацию извести с образованием соединений CaCO_3 , что позволяет снизить миграционную активность Са из укрепленного грунта в течение длительного времени и обеспечить устойчивость конструктивного слоя. Введение в состав грунтовой массы извести дает возможность сформировать на поверхности минеральных частиц грунта поверхностный слой, насыщенный Са и $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (гидрат извести). Измененная коллоидно-химическая структура минеральной части грунта обеспечивает повышение оптимальной влажности уплотнения грунта, жесткость. Сам процесс формирования новой структуры грунта занимает больше времени, чем при использовании цемента. Для укрепления грунтов применяют как гашеную известь $\text{Ca}(\text{OH})_2$, так и тонкомолотую негашеную известь СаО. Достижимая прочность грунтов зависит от содержания СаО в извести (обычно не менее 70 %). Практика использования данного метода укрепления грунтов показала, что она эффективна для первой и второй дорожно-климатических зон при укреплении грунтов с высокой кислотностью грунта и влажностью. Технология не обеспечивает высокой морозостойкости конструкционного слоя, по этой причине неэффективна в условиях Севера. Может использоваться для регулирования кислотности почвы, для предварительной обработки при комплексных методах формирования укрепленных грунтов [17].

Супеси и легкие суглинки эффективно укреплять органическими вяжущими (битум, битумные эмульсии). М.М. Филатов, А.И. Лысихина, Л.Н. Ястребов в разные годы установили, что грунты карбонатных пород с нейтральной средой при добавлении жидкого (вспененного) битума или битумной эмульсии под воздействием процесса коагуляции (физико-химический процесс слипания мелких частиц в более крупные агрегаты) формируют пространственную структуру из частиц грунта и битума. Формирование коагуляционных связей происходит под воздействием относительно слабых молекулярных сил «грунт – битум» с образованием пространственной структуры, которая характеризуется небольшой прочностью, тиксотропностью (восстановление свойств со временем после снятия внешней нагрузки), высокими показателями пластичности и водостойкости.

Достоинством применения органических вяжущих является технология их использования (технология производства работ по укреплению) и возможность устранения дефектов при выполнении работ или после эксплуатации автомобильной дороги (за счет дополнительного перемешивания, профилирования и последующего уплотнения смеси грунта и битума в конструктивный слой). Недостатками метода является малая прочность формируемых конструктивных слоев, зависимость проведения работ по формированию битумогрунта от погодных

условий, длительный период структурообразования в битумогрунте. Использование добавок (известки, цемента, ПАВ) позволяет повысить у непригодных для укрепления органическими вяжущими грунтов (песчаные) прочность и стабильность достигнутых показателей, а также увеличить скорость формирования структуры битумогрунта.

С увеличением объемов промышленного производства, расширением номенклатуры крупнотоннажных отходов появилась возможность вовлечения различных отходов (шлаки металлургии и химического производства, золы от сжигания топлива, шламы химических производств и т.п.) в дорожное строительство, влияя на структурообразование при получении грунтобетонных. Изучение процессов взаимодействия золы от сжигания топлив посвящены работы И.Л. Гурячкова, А.В. Волженского, Н.В. Горелышева и др. Гранулометрический состав частиц золы, их форма, пористость, способность проявлять вяжущие свойства выделяют золы от сжигания топлива (золы уноса) в отдельную группу отходов, способных формировать структуру грунта, обладающую характеристиками, получаемыми при использовании товарного цемента для укрепления несвязных грунтов. Золоуносы могут применяться в качестве активного компонента, когда используется их гидравлическая или иная химическая активность по отношению к воде или минеральным частицам грунта. Также их можно рассматривать в качестве мелкодисперсного инертного структурирующего материала, способного повысить показатели основных свойств за счет высокой удельной площади поверхности своих частиц. Такой подход может быть использован при укреплении несвязных грунтов неоптимального гранулометрического состава (разнозернистые, мелкозернистые однородные пески, различные местные каменные материалы низкой прочности). Использование золы уноса позволяет улучшить поровую структуру, прочность, водо- и сдвигоустойчивость получаемого конструкционного слоя автомобильной дороги. Характеристики грунта будут улучшаться в зависимости от величины удельной поверхности частиц.

Для улучшения свойств глинистых пород, используемых для конструктивных элементов дорожных одежд и уменьшения объема применяемого для этих целей вяжущего, возможно дополнительно использование стабилизаторов органического происхождения. Для получения максимального результата укрепления грунта необходимо сформировать рациональную структуру грунта за счет использования консолидирующего и гидрофобизирующего действия низкомолекулярных органических комплексов. Необходимо учитывать не только гранулометрический состав, но и минералогический состав глинистых пород.

Комплексное воздействие на грунт, основанное на химических, физико-химических и механических реакциях, позволяет превратить слабый грунт в дорожно-строительный материал, способный сформировать конструктивный слой с высокими прочностными и эксплуатационными характеристиками. Конструкции автомобильных дорог, содержащие слои из укрепленных грунтов, имеют ряд преимуществ при сравнении с дорожными одеждами из щебеночных материалов. Это длительное сохранение ровности покрытия, улучшение водно-теплового режима земляного полотна; уменьшение на 10...30 % потребности в щебне; сокращение трудозатрат на устройство конструктивных слоев в 1,2...1,3 раза.

При росте цен на природные каменные материалы и увеличении издержек, связанных с их доставкой, возрастает необходимость разработки технологий, способных эффективно повышать прочностные и эксплуатационные характеристики местных грунтов, малоприспособленных для дорожного строительства. Анализ предлагаемых различными авторами технологий укрепления грунтов позволяет сделать вывод, что разработка таких технологий должна учитывать процессы, происходящие при взаимодействии используемой добавки и частиц грунта: химические (обеспечивающие образование водонерастворимых соединений, активность минеральных вяжущих веществ, полимеризацию полимерных веществ); физико-химические (ионный обмен, коагуляционные процессы, микроагрегирование мелкодисперсной структур); физические и механические (размельчение, равномерное распределение в конструктивном слое, уплотнение). Научно обоснованное сочетание вышеуказанных процессов обеспечивает преобразование структуры грунта с приданием ему прочностных и эксплуатационных свойств, необходимых

для эффективного использования в строительстве автомобильных дорог. Используя ранее накопленный опыт применения технологий по укреплению грунтов различного состава для дорожного строительства, возможно предварительно определить номенклатуру отходов, складированных на территории Пермского края, способных выполнить функцию модификатора грунта и достичь необходимого повышения несущей способности и снизить потребление каменных материалов при строительстве автомобильных дорог. Проведенные предварительные аналитические исследования на кафедре «Автомобильные дороги и мосты» Пермского национального исследовательского политехнического университета показали, что для этих целей можно использовать отходы АО «Березниковский содовый завод», АО «Минерально-химическая компания ЕвроХим», АО «СИБУР-Химпром, ПАО «МЕТАФРАКС». В мелкодисперсном состоянии отходы данных предприятий имеет смысл применять для повышения несущей способности грунта за счет управления химических, физических и механических процессов взаимодействия отходов и грунта. Предварительно проведенные исследования по использованию высокоосновных отходов показали хорошие результаты при укреплении суглинков Березниковского района Пермского края. Установление механизма структурообразования при внесении отходов в местные грунты, определение оптимального содержания и технологии внесения позволят не только снизить стоимость дорожного строительства, а также использовать ресурсный потенциал промышленных отходов.

Список литературы

1. Агейкин В.Н. Индустриальная технология дорожного строительства с применением композиционных материалов на основе карбамидоформальдегидных смол и грунтов (на примере Западной Сибири): автореф. дис. ... канд. техн. наук. – СПб.: Санкт-Петербургский архитектурно-строительный университет, 1996. – 25 с.
2. Зубова О.В., Бессараб Г.А. Исследования сдвигоустойчивости дорожных битумозолоизвестняковых смесей // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2008. – Вып. 184. – С. 143–148.
3. Зубова О.В., Бессараб Г.А., Суворова Н.А. Дорожно-строительный материал на основе золосодержащей смеси, обработанной цементом и лесохимической добавкой // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2010. – Вып. 193. – С. 261–272.
4. Гурьянова М.Ф. Процессы структурообразования при укреплении глинистых грунтов шлаковым вяжущим в дорожном строительстве: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М.: МГУ, 1985. – 20 с.
5. Юдина Л.В. Утилизация металлургических и топливных шлаков для дорожного строительства в Удмуртской Республике: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Ижевск: Ижевский государственный технический университет, 1996. – 22 с.
6. Baghini M.S. Bitumen-cement Stabilized Layer in Pavement Construction Using Indirect Tensile Strength (ITS) Method // Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology. – 2013. – № 5 (24). – P. 5652–5656.
7. Пугин К.Г., Юшков В.С. Отходы металлургических предприятий для создания цветного асфальтобетона // Экология и промышленность России. – 2017. – Т. 21, № 5. – С. 4–7.
8. Получение экологически безопасных материалов на основе отработанного формовочного песка сталелитейного производства / Я.И. Вайсман, К.Г. Пугин, Л.В. Рудакова, И.С. Глушанкова, К.Ю. Тюрюханов // Теоретическая и прикладная экология. – 2018. – № 3. – С. 109–115.
9. Пугин К.Г. Научные основы минимизации негативных воздействий на геосферу при использовании отходов производства в строительстве: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М.: Моск. гос. строит. ун-т, 2016. – 44 с.
10. Synthesis and Characterization of a Calcium- and Sodium-Containing Acrylamide-Based Polymer and Its Effect on Soil Strength / A. Rabiee, M. Gilani, H. Jamshidi, H. Baharvand // Journal of vinyl & additive technology. – 2013. – P. 140–146.

11. Aryafar M. Intelligent Estimation of Compressive Strength of the Pavement Layers Stabilized by the Combination of Bitumen Emulsion and Cement // *American J. of Engineering and Applied Sciences*. – 2008. – № 1 (4). – P. 389–392.
12. Ребиндер П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах. Коллоидная химия. Избранные труды. – М.: Наука, 1978. – 368 с.
13. Зубова О.В. Использование в лесном дорожном строительстве зологрунтовых смесей, обработанных вяжущими материалами: дис. ... канд. техн. наук. – СПб., 2015. – 179 с.
14. Овчинников Р.В. Модификация структуры цементных бетонов наполнителями из золашлаковых отходов Новочеркасской ГРЭС: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Новочеркасск: Рост. гос. строит. ун-т, 2015. – 21 с.
15. Shaowen Du. Mechanical properties and shrinkage characteristics of cement stabilized macadam with asphalt emulsion // *Construction and Building Materials*. – 2019. – Vol. 203. – P. 408–416.
16. Effect of styrene-butadiene copolymer latex on properties and durability of road base stabilized with Portland cement additive / M.S. Baghini, A. Ismail, M.R. Karim, F. Shokri, A.A. Firoozi // *Construction and Building Materials*. – 2014. – P. 740–749.
17. Yu Sun, Lihan Li Strength assessment and mechanism analysis of cement stabilized reclaimed lime-fly ash macadam // *Construction and Building Materials*. – 2018. – Vol. 166. – P. 118–129.

References

1. Ageikin, V.N. Industrial'naiia tekhnologiia dorozhnogo stroitel'stva s primeneniem kompozitsionnykh materialov na osnove karbamidoformal'degidnykh smol i gruntov (na primere Zapadnoi Sibiri): Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk. – Spb.: Sankt-Peterburgskii arkhitekturno-stroitel'nyi universitet. – 1996. – 25 s.
2. Zubova O.V., Bessarab G.A. Issledovaniia sdvigoustoichivosti dorozhnykh bitumozolozvestniakovykh smesei // *Izvestiia Sankt-Peterburgskoi lesotekhnicheskoi akademii* – Vyp. 184. – 2008. – S. 143-148.
3. Zubova O.V., Bessarab G.A., Suvorova N.A. Dorozhno-stroitel'nyi material na osnove zolopeschanoi smesi, obrabotannoi tsementom i lesokhimicheskoi dobavkoi // *Izvestiia Sankt-Peterburgskoi lesotekhnicheskoi akademii*. – Vyp. 193. – 2010. – S. 261-272
4. Gur'ianova, M.F. Protsessy strukturoobrazovaniia pri ukreplenii glinistykh gruntov shlakovym viazhushchim v dorozhnom stroitel'stve: Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk.. – M.: MGU, – 1985. 20 s.
5. Iudina, L.V. Utilizatsiia metallurgicheskikh i toplivnykh shlakov dlia dorozhnogo stroitel'stva v Udmurtskoi Respublike: Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk.. – Izhevsk: Izhevskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, – 1996. – 22 s.
6. Baghini, M.S. Bitumen-cement Stabilized Layer in Pavement Construction Using Indirect Tensile Strength (ITS) Method // *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*. – 2013. – № 5 (24). – P. 5652-5656.
7. Pugin K.G., Iushkov V.S. Otkhody metallurgicheskikh predpriatii dlia sozdaniia tsvetnogo asfal'tobetona // *Ekologiia i promyshlennost' Rossii*. – 2017. – T. 21, №. 5. – S. 4-7.
8. Poluchenie ekologicheskii bezopasnykh materialov na osnove otrabotannogo formovochnogo peska staleliteinogo proizvodstva / Ia.I. Vaisman, K.G. Pugin, L.V. Rudakova, I.S. Glushankova, K.Iu. Tiuriukhanov // *Teoreticheskaia i prikladnaia ekologiia*. – 2018. – № 3. – S. 109–115.
9. Pugin K.G. Nauchnye osnovy minimizatsii negativnykh vozdeistvii na geosferu pri ispol'zovanii otkhodov proizvodstva v stroitel'stve avtoref. dis. ... doktora tekhn. nauk – Mosk. gos. stroit. un-t. Moskva. – 2016. – 44s.
10. Rabiee, A. Synthesis and Characterization of a Calcium- and Sodium-Containing Acrylamide-Based Polymer and Its Effect on Soil Strength / A. Rabiee, M. Gilani, H. Jamshidi, H. Baharvand // *Journal of vinyl & additive technology*. – 2013. – P. 140-146.
11. Aryafar, M. Intelligent Estimation of Compressive Strength of the Pavement Layers Stabilized by the Combination of Bitumen Emulsion and Cement // *American J. of Engineering and Applied Sciences*. – 2008. – № 1 (4). – P. 389-392.
12. Rebinder, P.A. Poverkhnostnye iavleniia v dispersnykh sistemakh. Kolloidnaia khimiia. Izbrannye trudy. P.A. Rebinder. – M.: Nauka. – 1978. – 368 s.
13. Zubova O.V. Ispol'zovanie v lesnom dorozhnom stroitel'stve zologruntovykh smesei, obrabotannykh viazhushchimi materialami: dis. ... kand. tekhn. nauk. – Sankt-Peterburg, – 2015.- 179 s.
14. Ovchinnikov R.V. Modifikatsiia struktury tsementnykh betonov napolniteliami iz zoloshlakovykh otkhodov Novocherkasskoi GRES: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. – Rost. gos. stroit. un-t. Novocherkassk, –2015. – 21s.
15. Shaowen Du Mechanical properties and shrinkage characteristics of cement stabilized macadam with asphalt emulsion // *Construction and Building Materials*. – Volume 203. – 2019. – pp. 408-416
16. Baghini, M.S. Effect of styrene-butadiene copolymer latex on properties and durability of road base stabilized with Portland cement additive / M.S. Baghini, A. Ismail, M.R. Karim, F. Shokri, A.A. Firoozi // *Construction and Building Materials*. – 2014. – P. 740-749.
17. Yu Sun, Lihan Li Strength assessment and mechanism analysis of cement stabilized reclaimed lime-fly ash macadam // *Construction and Building Materials*. – Volume 166. – 2018. – pp. 118-129.

Об авторах

Пугин Константин Георгиевич (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры строительных технологий, Пермского государственного аграрно-технологического университета имени академика Д.Н. Прянишникова (Россия, 614990, г. Пермь, Петропавловская ул., 23); профессор кафедры специальностей водного транспорта и управления на транспорте Пермского филиала Волжского государственного университета водного транспорта (e-mail: 123zzz@rambler.ru).

Норин Илья Олегович (Пермь, Россия) – аспирант кафедры автомобильные дороги и мосты Пермского национального исследовательского политехнического университета (Россия, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: admnpipu@mail.ru).

Кетов Антон Иванович (Пермь, Россия) – аспирант кафедры автомобильные дороги и мосты Пермского национального исследовательского политехнического университета (Россия, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: admnpipu@mail.ru).

About the authors

Konstantin G. Pugin (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Building Technologies, Perm State Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov (23, Petropavlovskaya st., Perm, 614990, Russian Federation); Professor of the Department of Specialties of Water Transport and Transport Management, Perm Branch of the Volga State University of Water Transport (e-mail: 123zzz@rambler.ru).

Ilya O. Norin (Perm, Russian Federation) – Graduate student, Department of the environmental protection, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky ave., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: admnpipu@mail.ru).

Anton I. Ketov (Perm, Russian Federation) – Graduate student, Department of the environmental protection, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky ave., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: admnpipu@mail.ru).

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Вклад авторов равноценен.

Поступила: 21.01.2023

Одобрена: 06.02.2023

Принята к публикации: 01.03.2023

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Пугин, К.Г. Улучшение характеристик грунтов, используемых для дорожного строительства / К.Г. Пугин, И.О. Норин, А.И. Кетов // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2023. – № 1. – С. 13–19. DOI: 10.15593/24111678/2022.04.02

Please cite this article in English as: Pugin K.G., Norin I.O., Ketov A.I. Improving the characteristics of soils used for road construction. *Transport. Transport facilities. Ecology*, 2023, no. 1, pp. 13-19. DOI: 10.15593/24111678/2022.04.02