

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 691.5:624.12

DOI:10.21822/2073-6185-2025-52-3-219-226



Оригинальная статья /Original article

**Эффективность стабилизирующих добавок при укреплении
глинистых грунтов минеральным вяжущим**

Е.А. Лукаш, С.А. Гнездилова, А.Д. Кожевин, Ю.В. Посохов

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, Россия

Резюме. Цель. Большая часть территории Российской Федерации испытывает нехватку каменных минеральных материалов, применяемых для устройства слоев оснований дорожных одежд. В качестве альтернативы на территориях с дефицитом каменных материалов, целесообразно применять грунты, укрепленные вяжущими веществами. Применение минеральных вяжущих в чистом виде имеет ряд недостатков, основным из которых является низкая трещиностойкость укрепленных грунтов, что объясняется их низкой деформативностью. Целью работы является проведение исследований влияния двух стабилизирующих добавок «Underbold» и «Geo-R-Bond» на физико-механические характеристики суглинка при его укреплении цементом. **Метод.** Для проведения комплексного анализа физико-механических свойств укрепленного грунта с использованием стабилизирующих добавок были разработаны и испытаны цилиндрические образцы в соответствии с требованиями ГОСТ 70452-2022 «Грунты стабилизированные и укрепленные неорганическими вяжущими. Общие технические условия». **Результат.** Комплексное исследование прочностных характеристик образцов грунтобетона в зависимости от дозировки цемента и стабилизирующих добавок позволило разработать оптимизированные рецептуры, обеспечивающие максимальную эксплуатационную надежность материала. В ходе экспериментальных исследований было установлено, что повышение содержания цемента в составе грунтобетона приводит к пропорциональному увеличению его прочностных показателей. Анализ полученных данных показал, что максимальная прочность достигается при введении 7% цемента в суглинистый грунт, что свидетельствует о достижении оптимального баланса между пластичностью и структурной целостностью материала. **Вывод.** Использование рассматриваемых стабилизаторов при укреплении грунта способствует приросту прочности образцов на растяжение при раскалывании, что свидетельствует об улучшении трещиностойкости. В процессе комплексной оценки эффективности стабилизаторов грунта, учитывающей физико-механические характеристики укрепленного материала и оптимальное соотношение компонентов, был выявлен наиболее результативный состав. Оптимальная пропорция стабилизирующих агентов включает 7% цемента в сочетании с добавкой «Underbold».

Ключевые слова: укрепление грунта, цемент, стабилизирующая добавка, прочность образцов, основание дорожной одежды

Для цитирования: Е.А. Лукаш, С.А. Гнездилова, А.Д. Кожевин, Ю.В. Посохов. Эффективность стабилизирующих добавок при укреплении глинистых грунтов минеральным вяжущим. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2025;52(3):219-226. DOI:10.21822/2073-6185-2025-52-3-219-226

Efficiency of stabilizing additives in strengthening clay soils with mineral binders

E.A. Lukash, S.A. Gnezdilova, A.D. Kozhevin, Y.V. Posohov

V.G. Shukhov Belgorod State Technological University,
46 Kostyukova Str., Belgorod 308012, Russia

Abstract. Objective. Most of the territory of the Russian Federation experiences a shortage of stone mineral materials used for the construction of road base layers. As an alternative, in areas with a shortage of stone materials, it is advisable to use soils reinforced with binders. At the same time, it has been established that the use of mineral binders in their pure form has a number of disadvantages, the main one of which is the low crack resistance of reinforced soils, which is explained by their low deformability. The purpose of the work is to conduct research on the effect of two stabilizing additives «Underbold» and «Geo-R-Bond» on the physical and mechanical properties of loam when it is reinforced with cement. **Method.** To conduct a comprehensive analysis of the physical and mechanical properties of reinforced soil using stabilizing additives, cylindrical samples were developed and tested in accordance with the requirements of GOST 70452-2022 «Soils stabilized and strengthened with inorganic binders. General specifications». **Result.** A comprehensive study of the strength characteristics of soil concrete samples depending on the dosage of cement and stabilizing additives allowed us to develop optimized formulations that ensure maximum operational reliability of the material. During the experimental studies, it was found that an increase in the cement content in the soil concrete composition leads to a proportional increase in its strength indicators. Analysis of the data obtained showed that maximum strength is achieved with the introduction of 7% cement into loamy soil, which indicates that an optimal balance has been achieved between plasticity and structural integrity of the material. **Conclusion.** The use of the considered stabilizers in soil strengthening contributes to an increase in the tensile strength of samples when splitting, which indicates an improvement in crack resistance. In the process of a comprehensive assessment of the effectiveness of soil stabilizers, taking into account the physical and mechanical characteristics of the reinforced material and the optimal ratio of components, the most effective composition was identified. In this context, it should be noted that the optimal proportion of stabilizing agents includes 7% cement in combination with the «Underbold» additive.

Keywords: soil stabilization, cement, stabilizing additive, strength of samples, road base

For citation: E.A. Lukash, S.A. Gnezdilova, A.D. Kozhevnikov, Y.V. Posohov. Efficiency of stabilizing additives in strengthening clay soils with mineral binders. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2025;52(3):219-226. (In Russ) DOI:10.21822/2073-6185-2025-52-3-219-226

Введение. В настоящее время в Российской Федерации растут темпы дорожного строительства. Значительная часть исследуемых территорий характеризуется дефицитом каменных минеральных ресурсов, таких как щебень, гравий и песок, которые являются ключевыми компонентами в производстве композитных материалов и устройстве конструктивных слоев дорожных одежд. В условиях ограниченного доступа к указанным материалам целесообразно рассматривать альтернативные решения, основанные на применении грунтов, модифицированных вяжущими веществами. Данный подход позволяет эффективно компенсировать недостаток природных каменных ресурсов и обеспечить требуемые эксплуатационные характеристики дорожных покрытий.

Под укреплением следует понимать совокупность мероприятий по обработке органическими, минеральными или комплексными вяжущими грунтов с целью повышения их физико-механических свойств [1]. В ходе исследований, направленных на повышение прочностных характеристик грунтов, были достигнуты значительные успехи при использовании минеральных вяжущих веществ [2-8]. Однако, несмотря на эти достижения, было выявлено, что применение минеральных вяжущих в чистом виде обладает рядом существенных недостатков. В частности, при достижении прочностных показателей выше 40 МПа наблюдается низкая трещиностойкость обработанных грунтов, что обусловлено их недостаточной деформативной способностью. Кроме того, низкая водостойкость приводит к значительному увеличению расхода материала, что, в свою очередь, существенно повышает общую стоимость строительных проектов. Для некоторых типов грунтов также возникают сложности в обеспечении требуемых показателей морозостойкости [9-11].

Эти факторы ограничивают широкое применение минеральных вяжущих в строительстве и требуют поиска альтернативных решений для повышения эффективности и экономической целесообразности укрепления грунтов [12].

Постановка задачи. Для повышения прочностных характеристик, морозостойкости, а также деформационной и несущей способности конструкционного слоя из укрепленного грунта необходимо применять химические добавки, которые, по своей сути, выступают в роли стабилизаторов и вводятся в процессе выполнения строительных работ совместно с вяжущими компонентами. Стабилизаторы представляют собой обширный класс веществ, различающихся по составу и происхождению, которые в малых дозировках оказывают положительное влияние на формирование физико-механических свойств дорожно-строительных материалов. Это достигается за счет активации физико-химических процессов и оптимизации технологических параметров. В результате достигается синергетический эффект, обеспечивающий повышение эксплуатационных характеристик укрепленного грунта [13].

За последнее десятилетие различными учеными проведено значительное количество исследований, посвященных применению стабилизаторов грунтов. Эти исследования, представленные в многочисленных публикациях, демонстрируют высокую эффективность стабилизирующих добавок в контексте повышения прочностных характеристик грунтовых оснований [14-18]. Каждая из таких добавок обладает уникальным наименованием, отражающим как географическое происхождение, так и специфику применения.

Однако, несмотря на достижения в данной области, существует значительная проблема, связанная с недостатком полной и систематизированной информации о применимости различных стабилизаторов в конкретных условиях дорожного строительства [19, 20]. Это затрудняет выбор оптимального решения для инженеров и проектировщиков, что, в свою очередь, может негативно сказаться на долговечности и надежности дорожных конструкций.

Методы исследования. Данное обстоятельство привело к необходимости проведения исследования влияния двух стабилизирующих добавок «Underbold» и «Geo-R-Bond» на физико-механические характеристики наиболее распространенного представителя глинистых грунтов Белгородской области – суглинка при его укреплении цементом. Анализируемый грунт характеризуется комплексом исходных параметров, представленных в табл. 1. В соответствии с ГОСТ 25100-2020 «Грунты. Классификация», данный грунт классифицируется как тяжелый пылеватый суглинок.

В рамках настоящего исследования необходимо подчеркнуть, что применение рассматриваемых стабилизаторов требует обязательного введения в грунтовую смесь связующего компонента, представленного в виде цемента.

Таблица 1. Физико-механические характеристики грунта
Table 1. Physical and mechanical characteristics of soil

Наименование показателя Name of the indicator	Требуемые значения Required values	Фактические значения Actual values
Максимальная плотность, г/см ³ Maximum density, g/cm ³	ГОСТ 22733-2016, не нормируется	1,76
Содержание песчаных частиц (2-0,05 мм), % Sand particle content (2-0.05 mm), %	ГОСТ 25100-2020, <40%	24,3
Число пластичности Plasticity index	ГОСТ 25100-2020, 0,12<I _p <0,17	0,14
Оптимальная влажность, % Optimum moisture content, %	ГОСТ 22733-2016, не нормируется	19,1
Влажность на границе раскатывания, % Moisture content at the rolling point, %	ГОСТ 5180-2015, не нормируется	20,5
Влажность на границе текучести, % Moisture content at the yield point, %	ГОСТ 5180-2015, не нормируется	34,8

Особенности применения стабилизирующих добавок и рекомендуемая дозировка представлены в табл. 2.

Таблица 2. Характеристики стабилизирующих добавок
Table 2. Characteristics of stabilizing additives

Описание Description	Наименование добавки Name of additive	
	Underbold	Geo-R-Bond
Особенности применения Application Features	Обволакивает отдельные частицы грунта, делая их гидрофобными, что даёт возможность легко и прочно связывать их между собой и с вяжущим/ Envelops individual soil particles. Способствует значительному снижению интенсивности тепловыделения, что, в свою очередь, минимизирует вероятность возникновения термических трещин/ Helps to significantly reduce the intensity of heat generation Не снижает раннюю прочность. Does not reduce early strength. Высокая пластифицирующая способность. High plasticizing capacity.	За счет ионного обмена стабилизатора с грунтом, вяжущим и водной фазой происходит вытеснение воды с поверхности частиц. Грунт становится гидрофобным с более высокими прочностными характеристиками. The soil becomes hydrophobic with higher strength characteristics. Высокая эффективность при низком расходе цемента. High efficiency with low cement consumption. Не снижает раннюю прочность. Does not reduce early strength. Не увеличивает водопотребность. Does not increase water consumption.
Внешний вид Appearance	Жидкость коричневого цвета Brown liquid	Жидкость желтоватого цвета Yellowish liquid
Плотность, г/см ³ Density, g/cm ³	1,02 – 1,06	1,0
Дозировка, % от массы цемента/ Dosage, % of cement mass	0,0015	0,002
Транспортировка и Хранение/ Transportation and Storage	В оригинальной упаковке. Не допускается замораживание In original packaging. Do not freeze.	

Количество цемента должно строго соответствовать рекомендациям по использованию добавок, направленных на укрепление грунта. В данном исследовании был использован нормальнотвердеющий портландцемент марки ЦЕМ I 42,5 Н, произведенный АО «ЦЕМРОС». Для проведения комплексного анализа физико-механических свойств укрепленного грунта с использованием стабилизирующих добавок были разработаны и испытаны цилиндрические образцы в соответствии с требованиями ГОСТ 70452-2022 «Грунты стабилизированные и укрепленные неорганическими вяжущими. Общие технические условия». В рамках данного исследования применялись методологические подходы, обеспечивающие высокую степень воспроизводимости результатов и достоверности полученных данных.

Особое внимание уделялось соблюдению нормативных требований к подготовке и испытанию образцов, что позволило минимизировать влияние внешних факторов на результаты экспериментов. В соответствии с рекомендациями производителя, добавки были смешаны с водой затворения. Для стабилизации грунта было использовано 0,0015% добавки «Underbold». Количество «Geo-R-Bond» составило 0,002%. В качестве вяжущего вещества был использован портландцемент, который составил 5, 6 и 7% от массы грунта. Продолжительность набора прочности образцов составила 28 суток.

Обсуждение результатов. Результаты комплексного анализа прочностных характеристик образцов, варьирующихся в зависимости от содержания цемента и стабилизаторов «Underbold» и «Geo-R-Bond», представлены в табл. 3, а также графически иллюстрированы на рис. 1 и 2.

Полученные данные демонстрируют, что с увеличением доли цемента в составе наблюдается повышение прочностных показателей всех исследованных рецептур. Максимальная величина прочности достигается при оптимальном содержании цемента, составляющем 7% от массы суглинистого грунта.

Таблица 3. Прочностные характеристики укрепленного грунта с использованием стабилизаторов

Table 3. Strength characteristics of reinforced soil using stabilizers

Состав смесей, % Composition of mixtures				Прочность, МПа Strength	
Грунт Priming	Цемент Cement	Underbold	Geo-R-Bond	при сжатии, $R_{сж}$ under compression	на растяжение при раскалывании, $R_{раст}$ tensile strength
95	5	-	-	0,97	0,38
95	5	0,0015	-	1,44	0,67
95	5	-	0,002	1,18	0,49
94	6	-	-	1,87	0,61
94	6	0,0015	-	2,65	0,92
94	6	-	0,002	2,37	0,81
93	7	-	-	3,06	0,87
93	7	0,0015	-	4,65	1,47
93	7	-	0,002	3,87	1,24

Применение стабилизатора «Underbold» демонстрирует значительно более высокий уровень повышения прочностных характеристик грунта по сравнению с добавкой «Geo-R-Bond».

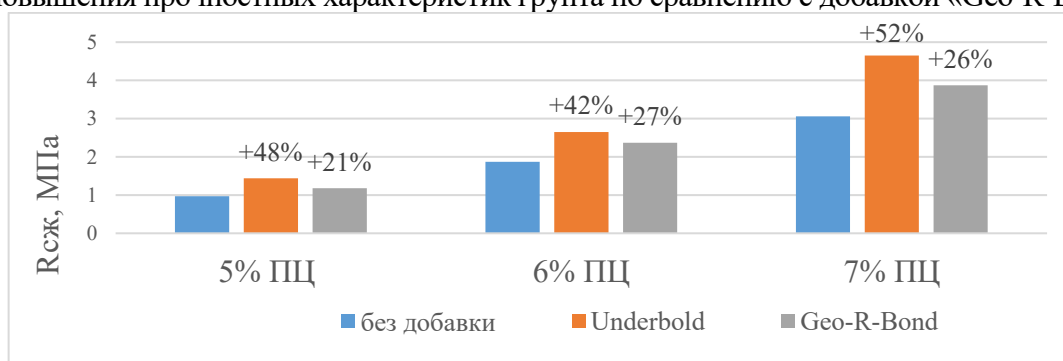


Рис. 1 - Изменение предела прочности при сжатии

Fig. 1 - Change in compressive strength

Экспериментальные исследования показали, что введение стабилизатора «Underbold» в сочетании с 6% цемента приводит к увеличению предела прочности при сжатии образцов грунтобетона на 42% и на 51% на растяжение при раскалывании по сравнению с контрольными образцами. Модификация грунта с использованием добавки «Geo-R-Bond» и 6% цемента обеспечивает менее значительное повышение прочности, составляющее 27% при сжатии и 33% на растяжение, что свидетельствует о меньшей эффективности данной комбинации в контексте укрепления грунтовых оснований. Применение двух стабилизирующих добавок обеспечило прочностные показатели, соответствующие марке М20А ($R_{сж} \geq 2,0$ МПа; $R_{раст} \geq 0,3$ МПа).

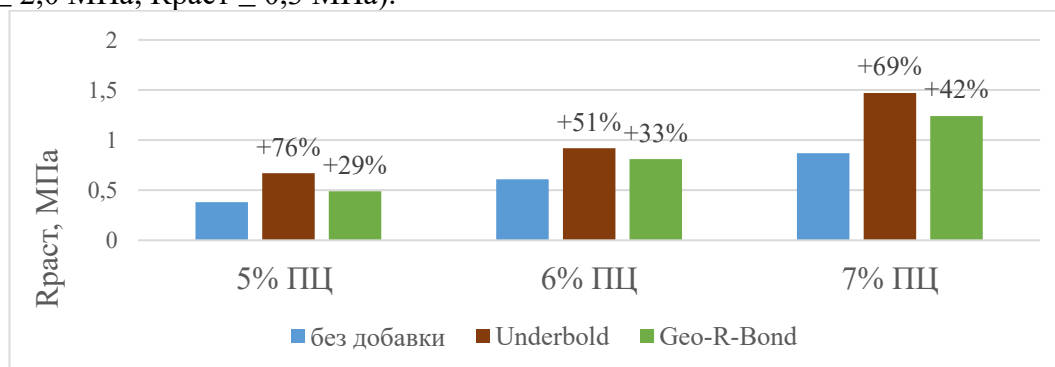


Рис. 2 - Изменение предела прочности на растяжение при раскалывании

Fig. 2 - Change in tensile strength at splitting

Чего нельзя сказать про контрольные образцы с 6 % цемента, имеющими прочность при сжатии $R_{сж} = 1,87$ МПа.

Результаты комплексного анализа проведенных экспериментальных исследований демонстрируют значительное повышение прочностных характеристик суглинистого грунта при использовании модифицирующей добавки «Underbold» в сочетании с 7% цемента. Сравнение с контрольными образцами, содержащими только цемент в эквивалентном количестве, выявило увеличение прочности на сжатие на 52%, а на раскалывание — на 69%. Данные результаты соответствуют требованиям марки по прочности М40А, что подтверждается значениями: $R_{сж} \geq 4,0$ МПа и $R_{раст} \geq 0,6$ МПа. Применение добавки «Geo-R-Bond» совместно с 7% цемента также способствовало повышению прочностных характеристик грунта, однако эффект был менее выражен. Прирост прочности на сжатие составил 26%, а на раскалывание - 42%, что, тем не менее, не позволило достичь проектных показателей марки М40, характеризующейся значениями $R_{сж} = 3,87$ МПа и $R_{раст} = 1,24$ МПа.

Комплексное исследование изменения предела прочности на растяжение при раскалывании системы «грунт-стабилизатор-вяжущее» продемонстрировало, что динамика набора прочностных характеристик образцов грунтобетона под воздействием изгибающих нагрузок существенно превосходит аналогичные показатели при сжимающих нагрузках. Введение различных концентраций цемента (5, 6 и 7 %) в сочетании со стабилизатором «Underbold» приводит к значительному увеличению предела прочности на растяжение при раскалывании: на 76, 51 и 69 % соответственно. В то же время использование добавки «Geo-R-Bond» при аналогичных дозировках цемента приводит к снижению данного показателя до 29, 33 и 42 % соответственно, что свидетельствует о более низкой эффективности данной добавки в контексте повышения трещиностойкости грунтобетонных композиций.

Таким образом, использование стабилизирующей добавки «Underbold» в комплексе с 7 % портландцемента позволяет получить укрепленный грунт марки 40А, соответствующий требованиям для устройства оснований капитальных типов дорожных одежд.

Вывод. Анализ физико-механических параметров укрепленного портландцементного глинистого грунта с применением стабилизирующих добавок «Underbold» и «Geo-R-Bond» демонстрирует полное соответствие установленным требованиям ГОСТ 70452-2022. Использование рассматриваемых стабилизаторов при укреплении грунта способствует приросту прочности образцов на растяжение при раскалывании, что свидетельствует об улучшении трещиностойкости.

В ходе сравнительного анализа эффективности стабилизаторов по совокупности регламентированных физико-механических характеристик укрепленного материала, с учетом оптимального соотношения компонентов, был выявлен наиболее результативный состав, включающий 7% цемента и добавку «Underbold». Данный вывод подтверждается комплексным подходом к оценке стабилизирующих свойств, что позволяет сделать обоснованное заключение о превосходстве указанного состава над альтернативными вариантами.

Библиографический список:

1. Васильев В.П. Укреплять и стабилизировать // Автомобильные дороги. 2024. № 7 (1112). С. 40-43.
2. Слободчикова Н.А., Клоев С.В., Плюта К.В. Зависимость модуля упругости грунтов, укрепленных неорганическими вяжущими, от прочности на сжатие//Вестник СибАДИ. 2024. Т.21, № 5.С.786-800.
3. Лофлер М., Слободчикова Н.А.Методики подбора составов грунтов, укрепленных известью, для дорожного строительства/Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2018;8(2): 141-147.
4. Траутвайн А.И., Акимов А.Е., Яковлев Е.А., Черногиль В.Б., Лукашук А.Г. Оценка эффективности применения стабилизаторов серии «ЧИМСТО» в грунтах, укрепленных неорганическими вяжущими // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 12. С. 6-13. DOI: 10.12737/article_5a27cb7c733e24.73795944.
5. Симчук Е.Н., Жданов К.А., Зарифов Р.Р.Исследование эффективности комплексных минеральных вяжущих в укреплении грунтов для дорожных конструкций/Дороги и мосты.2023; 2(50). С.309-322.
6. Звягинцев А.В., Лунёв А.А., Кацарский Р.С., Шевченко Д.А. Исследование прочности зологрунтовых материалов, укрепленных известью//Вестник СибАДИ. 2021. Т. 18. № 3(79). С. 330-341.
7. Подольский Вл.П., Матвиенко Ф.В., Строкин А.С., Борисов А.Е. Исследование влияния модификатора "ДОРЦЕМ ДС-1" на свойства цемента и физико-механические характеристики цементогрунта // Научный журнал строительства и архитектуры. 2017. № 1 (45). С. 84-92.

8. Меджидов Р.А., Магомедов Р.Я., Мурадалиев З.З. Цементация грунта в дорожном строительстве // Естественные и технические науки. 2024. № 3 (190). С. 133-135.
9. Витушенко В.А., Крыкова Л.Л., Цатуров Б.М., Овчинников И.И. Укрепление грунтов применением цемента с противоморозными добавками // Техническое регулирование в транспортном строительстве. 2024. № 1 (59). С. 71-75.
10. Мясникова С.А., Вельсовский А.Ю., Шорин В.А. Оценка эффективности применения ионного стабилизатора для укрепления и обеспечения морозоустойчивости глинистых грунтов для дорожного строительства // Дороги и мосты. 2022. № 2 (48). С. 241-253.
11. Викулин И.А., Скрыпников А.В., Пильник Ю.Н., Попов С.Е. Морозостойкость укрепленного грунта лесовозных автомобильных дорог // Деревообрабатывающая промышленность. 2024. № 3. С. 24-30.
12. Матвиенко Ф.В., Паневин Н.И., Канищев А.Н., Шапаускас В.С. Исследование влияния модификатора MADOR на показатели морозостойкости и водостойкости укрепленных цементом дисперсных материалов для дорожного строительства // Научный журнал строительства и архитектуры. 2023. № 3 (71). С. 92-100. DOI: 10.36622/VSTU.2023.3.71.010.
13. Ядыкина В.В., Лукаш Е.А., Кондрашов Д.С. Влияние стабилизирующих добавок на свойства укрепленных портландцементом грунтов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 11. С. 6-10. DOI: 10.12737/article_5a001aaaaee4b3.57860955.
14. Чудинов С.А. Повышение эффективности укрепления грунтов портландцементом со стабилизирующей добавкой // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 5. С. 163.
15. Абу-Хасан М., Соловьева В.Я., Сахарова А.С. Способы стабилизации и укрепления иольдиевых глин и слабых глинистых грунтов при создании земляного полотна в районах Крайнего Севера. Известия Петербургского университета путей сообщения. 2022. -Т.19. - № 3. - С.444-454.
16. Панков П.П., Коновалова Н.А., Дабижа О.Н. Использование стабилизирующих добавок в составах цементогрунтов, модифицированных отходами теплоэнергетики // Современные наукоемкие технологии. 2017. № 11. С. 52-57.
17. Коновалова Н.А., Дабижа О.Н., Панков П.П. Структурообразование цементогрунтов в присутствии стабилизирующей добавки криогелит // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2017. № 8 (704). С. 63-73.
18. Меренцова Г.С., Медведев Н.В., Добрынина А.А. Стабилизация грунтов рабочего слоя земляного полотна с применением полимерно-минеральной добавки "NICOFLOK" // Ползуновский альманах. 2022. № 1. С. 133-135.
19. Сергеева А.М., Полякова Т.А. Улучшение эксплуатационных показателей покрытий грунтовых дорог путём применения добавок (стабилизаторов). Экономика:вчера, сегодня, завтра.2021;11(2):179-185.
20. Безродных А.А., Дмитриева Т.В., Беляев А.В., Куцына Н.П. Опыт укрепления грунтов в дорожном строительстве//Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. 2019. № 11. С. 164-168.

References:

1. Vasiliev V.P. Strengthen and stabilize. *Highways*. 2024; 7 (1112): 40-43. (In Russ)
2. Slobodchikova N.A., Klyuev S.V., Plyuta K.V. Dependence of the soils' elastic modulus reinforced with inorganic binders on compressive strength. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2024; 21 (5): 786-800. (In Russ)
3. Lofler M., Slobodchikova N.A. Methods for reinforcing soil compositions with lime for road construction. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2018; 8 (2):141-147. DOI: 10.21285/2227- 2917-2018-2-141-147. (In Russ)
4. Trautvain A.I., Akimov A.E., Yakovlev E.A., Chernogil V.B., Lukashuk A.G. Estimation of application "CHIMSTON" additivites efficiency for soil stabilized by cement. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2017;12: 6-13. DOI: 10.12737/article_5a27cb7c733e24.73795944. (In Russ)
5. Simchuk E.N., Zhdanov K.A., Zarifov R.R. Study of the efficiency of hydraulic road binders in soil stabilization for road structures. *Roads and Bridges*. 2023; 2 (50): 309-322. (In Russ)
6. Zvyagintsev A.V., Lunev A.A., Katsarskiy R.S., Shevchenko D.A. Strength of lime-strengthened ashand-slag materials study. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2021;18(3):330-341. (In Russ)
7. Podol'skii V.I., Matvienko F.V., Strokin A.S., Borisov A.E. Study of the effect of the «DORCEM DS-1» modifier on the properties of cement and physical and mechanical characteristics of cement foundations. *Scientific journal of construction and architecture*. 2017; 1 (45): 84-92. (In Russ)
8. Medzhidov R.A., Magomedov R.YA., Muradaliev Z.Z. Soil cementation in road construction. *Natural and technical Sciences*. 2024; 3 (190): 133-135. (In Russ)
9. Vitushchenko V.A., Krykova L.L., Tsaturov B.M., Ovchinnikov I.I. Soil reinforcement with the use of cements with anti-frost additives. *Technical regulation in transport construction*. 2024;1(59):71-75. (In Russ)
10. Myasnikova S.A., Velsovsky A.YU., Shorin V.A. Evaluation of the efficiency of the use of ion stabilizer for strengthening and providing frost resistance of clay soils for road construction. *Roads and bridges*. 2022; 2 (48):241-253. (In Russ)

11. Vikulin I.A., Skrypnikov A.V., Pilnik YU.N., Popov S.E. Frost resistance of reinforced soil of logging roads. Woodworking industry. 2024; 3: 24-30. (In Russ)
12. Matvienko F.V., Panevin N.I., Kanishchev A.N., Shapauskas V.C. Investigation of the effect of the MADOR modifier on the indicators of frost resistance and water resistance cement-reinforced dispersed materials for road construction. *Scientific journal of construction and architecture*. 2023;3(71):92-100. (In Russ)
13. Yadykina V.V., Lukash E.A., Kondrashov D.S. The Influence of Stabilizing Additives on the Properties of the Ground Strengthened by Cement. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2017; 11: 6-10. (In Russ)
14. Chudinov S.A. Increase productivity soil reinforcement of portland cement with a stabilizing additive. *Modern problems of science and education*. 2014;5:163. (In Russ)
15. Abu-Khasan M., Soloviova V.Ya., Sakharova A.S. Methods for Stabilizing and Strengthening Yoldian Clays and Weak Clay Soils When Creating a Subgrade in the Far North Regions. *Proceedings of Petersburg Transport University*. 2022; 19 (3): 444–454. DOI: 10.20295/1815-588X2022-3-444-454. (In Russ)
16. Pankov P.P., Konovalova N.A., Dabizha O.N. The use of stabilizing additives in compositions of cementogronits modified by waste of heat-power engineering. *Modern high-tech technologies*. 2017;11:52-57.
17. Konovalova N.A., Dabizha O.N., Pankov P.P. Structural formation of cementogronits in the presence of stabilizing additive cryogelite. *News of higher educational institutions. Construction*. 2017;8 (704):63-73.
18. Merentsova G.S., Medvedev N.V., Dobrynina A.A. Stabilization of soils of the working layer of the roadbed using the polymer-mineral additive "NICOFLOK". *Polzunovsky almanac*. 2022; 1: 133-135. (In Russ)
19. Sergeeva A.M., Polyakova T.A. Improving the performance of dirt road surfaces by using additives (stabilizers). *Economy: yesterday, today, tomorrow*. 2021; 11 (2A): 179-185. DOI: 10.34670/AR.2021.28.89.022.
20. Dmitrieva T.V., Bezrodnykh A.A., Belyaev A.V., Kutsyna N.P. Experience of soil stabilization in road construction. *Resource and energy efficient technologies in the construction complex of the region*. 2019; 11:164-168. (In Russ)

Сведения об авторах:

Евгений Алексеевич Лукаш, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных и железных дорог им. А.М. Гридчина; svh8@yandex.ru

Светлана Александровна Гнездилова, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных и железных дорог им. А.М. Гридчина; gnezdilka@yandex.ru

Александр Дмитриевич Кожевин, магистрант кафедры автомобильных и железных дорог им. А.М. Гридчина; a.kozhevin08@yandex.ru

Юрий Викторович Посохов, магистрант кафедры автомобильных и железных дорог им. А.М. Гридчина; bafly@inbox.ru

Information about authors:

Evgeny A. Lukash, Cand.Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Department of Automobile roads and Railroads named after A.M. Gridchin; svh8@yandex.ru

Svetlana A. Gnezdilova, Cand.Sci. (Eng.), Assoc.Prof., Department of Automobile roads and Railroads named after A.M. Gridchin; gnezdilka@yandex.ru

Aleksandr D. Kozhevin, Master's Student, Department of Automobile roads and Railroads named after A.M. Gridchin; a.kozhevin08@yandex.ru

Yurij V. Posohov, Master's Student, Department of Automobile roads and Railroads named after A.M. Gridchin; bafly@inbox.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/Received 01.06.2025.

Одобрена после рецензирования/Reviced 28.06.2025

Принята в печать/Accepted for publication 01.08.2025