

Научная статья
УДК 625.741

О проблеме применения укрепленных и стабилизированных грунтов в рабочем слое земляного полотна

**Екатерина Валерьевна Каленова¹, Полина Михайловна Феофанова²,
Андрей Владимирович Козлов³**

^{1,2}Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),
Москва, Россия

³ООО «Автодор-Инжиниринг», Москва, Россия

¹katerina_k_83@mail.ru

²feofanovapm@gmail.com

³A.Kozlov@avtodor-eng.ru

Аннотация. Актуальным вопросом в дорожной отрасли является применение местных грунтов при строительстве дорог высокой категории. Укрепление и стабилизация грунтов рабочего слоя земляного полотна позволят обеспечить требуемые межремонтные сроки службы дорожных одежд. Отсутствие расчётных характеристик стабилизированных грунтов для расчёта нежестких дорожных одежд в действующих нормах во многом сдерживает применение их в рабочем слое земляного полотна.

Ключевые слова: укрепление грунтов, стабилизация грунтов, стабилизаторы, модуль упругости.

Для цитирования: Каленова Е.В., Феофанова П.М., Козлов А.В. О проблеме применения укрепленных и стабилизированных грунтов в рабочем слое земляного полотна // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2023. №3 (37).

Original article

About the problem of using reinforced and stabilized soils in the working layer of the roadbed

Ekaterina V. Kalenova¹, Polina M. Feofanova², Andrey V. Kozlov³

^{1,2}Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI),
Moscow, Russia

³ООО Avtodor-Engineering, Moscow, Russia

¹katerina_k_83@mail.ru

²feofanovapm@gmail.com

³A.Kozlov@avtodor-eng.ru

Abstract. An urgent issue in the road industry is the use of local soils in the construction of roads of high categories. Strengthening and stabilization of soils in the working layer of the subgrade will ensure the required overhaul life of road pavements. The absence in the current standards for the calculation of non-rigid pavement of the calculated characteristics of stabilized soils largely hinders their use in the working layer of the subgrade.

Keywords: soil strengthening, soil stabilization, stabilizers, California number, elastic modulus.

For citation: Kalenova E.V., Feofanova P.M., Kozlov A.V. About the problem of using reinforced and stabilized soils in the working layer of the roadbed. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*. 2023. №3 (37).

Актуальность темы

Современное строительство скоростных магистралей I и II категорий предполагает использование инновационных технологий и научных достижений в дорожной отрасли для обеспечения высоких темпов строительства качественных и безопасных дорог [1] в установленный временной период с обеспечением требуемых нормативных сроков службы для капитального ремонта и ремонта [2]. Работоспособность дорожных одежд при высоких динамических нагрузках от движущегося автомобильного транспорта во многом зависит от стабильной и предсказуемой работы каждого отдельного слоя, что в совокупности влияет на прочность и надежность всей конструкции. При этом, поведение дорожной конструкции в процессе эксплуатации существенным образом обуславливается состоянием рабочего слоя земляного полотна, в особенности в районах с неблагоприятными климатическими и гидрологическими условиями. В связи с чем, к рабочему слою земляного полотна всегда предъявлялись высокие требования. Рабочим слоем земляного полотна называют верхнюю часть земляного полотна в пределах от низа дорожной одежды до уровня, соответствующего $2/3$ глубины промерзания конструкции, но не менее 1,5 м, считая от поверхности покрытия [3]. Так согласно п. 7.15 [3] рабочий слой на глубину 1,2 м от

поверхности цементобетонных и на глубину 1,0 м асфальтобетонных покрытий в дорожно-климатической зоне II и на 1,0 и 0,8 м соответственно в дорожно-климатической зоне III должен состоять из непучинистых или слабопучинистых грунтов.

При этом не следует забывать, что в ряде регионов Российской Федерации ограничены запасы песков или объемы их добычи не удовлетворяют отраслевым потребностям. Например, при осуществляемом в настоящее время строительстве автомобильной дороги М-12 «Москва-Казань» в Нижегородской области, подрядчики столкнулись с дефицитом песков. В результате значительно выросло расстояние доставки таких материалов и стоимость автоперевозок. Масштабное строительство упомянутой автомобильной дороги вызвало существенный дефицит на рынке песка и щебня в регионе, что в свою очередь сыграло в сторону увеличения стоимости дорожно-строительных материалов у поставщиков. Также стоит сказать, что на этапе активного развертывания работ возникли сложности с доставкой нужных объемов щебня, песка, гравия. Данная ситуация складывается в связи с недостаточно развитой местной транспортной сети и ее неудовлетворительным состоянием по ряду участков. А район прохождения трассы М-12 от Казани до Екатеринбурга в зоне ответственности Государственной компании «Автодор» на участке Дюртили – Ачит, общей протяженностью 275 км, характеризуется не только отсутствием качественного песка и щебня [4], но и должной логистики, что затрудняет доставку таких материалов, что в свою очередь увеличивает сроки поставки, стоимость и сроки производства работ.

Во II и III дорожно-климатических зонах также предъявляются высокие требования к коэффициенту уплотнения грунтов рабочего слоя земляного полотна – 1,0-0,98 при устройстве дорожных одежд капитального типа. Методикой расчета нежестких дорожных одежд учитывается прочность грунта рабочего слоя земляного полотна через величину его модуля упругости при расчётной влажности [Инструкция по проектированию

дорожных одежд нежесткого типа: ВСН 46-83 / Минтрансстрой. [5, 6]. Однако для связных грунтов, относящихся к подвиду глинистые, значение расчетной влажности велико, что в итоге может привести к подмыву и просадке. О необходимости повышения несущей способности грунтов рабочего слоя земляного полотна долгие годы идет речь в научных кругах [7, 8, 9, 10]. Весьма прогрессивным является тот факт, что в новом ПНСТ 542-2021, разработанном в развитие действующей в Российской Федерации методики проектирования нежестких дорожных одежд и введенном в действие с 01.06.2021 [11] регламентированы требования к общему модулю упругости на поверхности рабочего слоя земляного полотна в зависимости от дорожно-климатической зоны: не ниже значений, представленных в таблице 1.

Таблица 1

Е, МПа	Дорожно-климатическая зона
60	I, II
53	III
45	IV, V

Обеспечивать данное требование разработчики предварительного национального стандарта предлагают за счет: замены грунта на непучинистый, а также укреплением или стабилизацией грунтов.

Технология замены рабочего слоя земляного полотна на непучинистые песчаные грунты сопряжена с поиском месторождений данного материала, а также дополнительными логистическими проблемами в части разработки маршрутов и организации доставки кондиционного грунта на объекте строительства, вывоза непригодного грунта с последующей его рекультивацией, а также с поиском мест для его складирования. Всё это существенным образом увеличивает экономическую составляющую любого проекта. И здесь открываются широкие возможности различным технологиям, позволяющим придать заданные свойства некондиционных грунтов: снизить влажность и число пластичности для суглинистых и глинистых грунтов, повысить их несущую способность. Более широкое

применения местных грунтов для сооружения рабочего слоя земляного полотна способно существенно снизить затраты на строительство дорог, одновременно повышая надежность готового конструктива за счет сокращения объема и стоимости автоперевозок, а также повысить темпы и сократить сроки строительства.

Зарубежный опыт

Впервые способы улучшения свойств грунтов были применены в США и опубликованы в брошюре Портландцементной компанией под редакцией научного коллектива Х.В. Вилфорда, Б.Р. Довнея и Ч.А. Гогентоглера, в которой авторы подробно изложили практические сведения по организации и порядку проведения работ по подбору и укладке запроектированных грунтовых смесей. Они выделили три условия, соблюдение которых обеспечивает надлежащую устойчивость дорожного основания: тщательный подбор гранулометрического состава; тщательное перемешивание и уплотнение смеси; строгое соблюдение оптимальной влажности в период уплотнения.

Первоначально, пионер механики грунтов Альберт Аттерберг еще в 1911 году провел опыты в поиске зависимости от содержания воды и физическом состоянии грунта. Были выявлены четыре состояния грунта – твердое, полутвердое, пластичное и жидкое. Однако, важным вопросом оставалась возможность влияния на состояния грунта. Так, за рубежом, технологии укрепления грунта цементом начали развиваться в первой половине XX века. В Голландии, начиная с 1956 года, были укреплены десятки миллионов квадратных метров грунта. В 80-х годах прошлого века в ФРГ ежегодно около 1 млн тонн цемента расходовалось на укрепление грунтов на севере страны (портовые сооружения Гамбурга, складские площадки), при строительстве просёлочных дорог. Во Франции эту технологию начали применять с 1972 года благодаря активности цементных компаний. Способ инъектирования грунтов начал применяться во Франции в

начале XIX в. Изобрел его в 1802 г. Бериньи (Berigny), успешно инъецировавший цементные растворы, с пуццолановыми добавками [12].

Отечественный опыт

Советские ученые также занимались разработками в области изменения состояния грунтовых оснований. В работе Е. Головачёва [13] излагались методы улучшения грунтов путем смешения песка и гравия с глинистым грунтом. Методы укрепления грунтов добавками получили дальнейшее развитие в работе профессора Г.Д. Дубелира. К 1928 году на основе достижений науки о грунтах, благодаря работам профессоров Н.Н. Иванова, В.В. Охотина, П.А. Замятченского и других, была разработана теория оптимальных смесей и способов производства работ при применении добавок.

В отечественной практике дорожно-транспортного строительства вопросам управления свойствами грунтов всегда придавалось существенное значение. М.М. Филатов еще в 1925 году [14] отметил актуальность вопроса учета почвенного фактора при строительстве шоссейных дорог и соответственно улучшении его свойств. В СССР технология укрепления грунтов добавками извести в сочетании с цементом введена в нормы в 1969 году – ВСН 158-69 [15]. В этом документе отмечается, что наиболее универсальная добавка для осушения земляного полотна – молотая негашеная или молотая негашеная гидрофобная известь. В трудах В.М. Безрука и А.И. Лысихиной рассматривается вопрос физического процесса набухания глинистых грунтов, роль воды в процессе пучения и сами способы стабилизации переувлажненных некондиционных грунтов [16]. Научный коллектив ученых в составе С.Г. Фурсова, А.А. Фридмана, Н.В. Желановой, Т.И. Васильевой, В.М. Ольховикова, П.П. Петровича, Р.Г. Кочетковой, В.С. Цветкова разработали руководство по грунтам и материалам, укрепленным органическими вяжущими, в котором описаны все современные способы и материалы для укрепления грунтов [17]. Также активно используется нормативно-технический документ, под редакцией В.М. Ольховикова, СТО 26233397 МОСАВТОДОР.1.1.1.01-2013, технические

условия которого распространяются на укрепленные грунты, применяемые для устройства несущих и дополнительных слоёв оснований, а также рабочего слоя земляного полотна местных (сельских) автомобильных дорог Московской области в соответствии с действующими строительными нормами. Коллективом производственного сектора в [18] на опытном участке протяженностью 100 км в Омской области провели работу по укреплению грунтов битумным вяжущим, оценили на практике результативность данного метода.

Современное состояние вопроса

Современные наработки продвинулись дальше – так в статье [7] Д.А. Разуваев отмечает, что фактические данные модуля упругости для стабилизированных и не стабилизированных грунтов отличаются от нормативных значений. Еще одно исследование коллектива авторов А.И. Траутвайн, А.Е. Акимов, Е.А. Яковлев, В.Б. Черногиль, А.Г. Лукашук [8] говорит о том, что применение добавок способствует увеличению предела прочности при сжатии и изгибе, положительно сказывается на водонасыщении образцов грунта, укрепленных неорганическими вяжущими.

В настоящее время помимо технологии укрепления некондиционных грунтов дорожная отрасль предлагает использовать стабилизаторы. Впервые технология стабилизации упомянута в патенте [20], где предлагается способ получения уплотняемого, водостойкого и прочного материала из местных грунтов. В современном дорожно-транспортном строительстве нередко смешиваются и подменяют друг друга понятия «укрепления» и «стабилизации» грунта. Редакционная коллегия журнала «Автомобильные дороги» отмечала проблему смешения этих понятий еще в 1968 году и рекомендовала использовать термин «укрепление грунта», исключая из употребления термин «стабилизация грунта» [21]. Стоит сказать, что немецкие коллеги различают понятия «улучшение» и «укрепление» грунтов (Bodenverfestigung). Под улучшением грунта (Bodenverbesserung) понимается процесс, используемый для немедленного повышения способности грунта к

укладке и уплотнению, а также для облегчения выполнения строительных работ. Укрепление грунта дополнительно подразумевает повышение устойчивости грунта к транспортным и климатическим воздействиям в долгосрочной перспективе, в результате чего грунт становится прочным, устойчивым к воздействию воды и морозостойким [22]

Так, к стабилизированному грунту относится только смешение грунта со стабилизатором с целью изменения водно-физических свойств грунта [6] (как правило, поверхностно-активные добавки, например, Roadbond (США), «Дортех» (РФ), RRP-235-Special (Германия), ЕН-1 (США), SPP (ЮАР), «Статус 3» (РФ), CBR+ (ЮАР), RoadPacker Plus). В то время как к укрепленному грунту относят смешение некондиционного грунта с органическим или неорганическим вяжущими. Термин «стабилизация грунта» указывает на постоянство свойств его с изменением влажности при достаточной величине сопротивляемости воздействию нагрузок [16].

В настоящий момент действуют следующие нормативные документы для укрепленных и стабилизированных грунтов [23, 15]. Для рабочего слоя нормами рекомендуется применение материалов. Перед тем, как укреплять связные грунты, необходимо понизить их влажность так, чтобы число пластичности не выходило за пределы, указанные в таблице 2:

Таблица 2

Требование к грунтам	Стабилизация	Укрепление
Суглинки с числом пластичности до 12, суглинки с числом пластичности от 12 до 17 и глины с числом пластичности до 22	Жидкий битум с добавкой извести (цемента), ПАВ	Известь, цемент, золы-уноса или песок из отсевов дробления карбонатных горных пород при строительстве в I-III ДКЗ
Засоленные грунты (с условием содержания легкорастворимой соли не более 1% по массе)	-	Жидкие органические вяжущие.
Техногенные дисперсные грунты	-	-
Гумусовые горизонты дерново-подзолистые и полуболотные грунты	-	Укреплять органическими вяжущими не допускается

В то же время [6] предлагает схему применения стабилизаторов в зависимости от функции и вида грунта по pH^+ , которая представлена на рис.1.

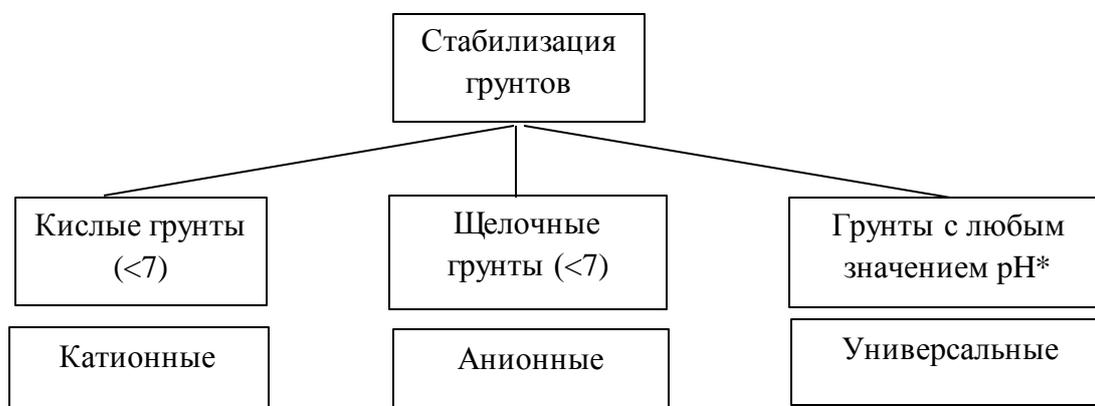


Рис. 1. Дорожная классификация стабилизаторов по целевым функциям обработки грунтов добавками

Согласно действующим нормам при укреплении и стабилизации грунтов рабочего слоя земляного полотна достаточно обеспечить марку по прочности М10 в таблице 3 [23].

Таблица 3

Материал	Расчетный модуль упругости, МПа
Мелкие и пылеватые песчаные грунты, все виды супесей, суглинки с числом пластичности до 12, обработанные цементом М10	160
М20	250
М40	400
М60	550
М75, М80	750
М100	870

При этом в [11] приведены расчетные характеристики только для материалов, укрепленных цементом и шлаковыми, золошлаковыми, другими минеральными вяжущими.

Таблица 4

Материал	Расчетный модуль упругости, МПа
Мелкие и пылеватые песчаные грунты, все виды супесей, суглинки с числом пластичности до 12, обработанные цементом М10	160
М20	250
М40	400
М60	550
М75, М80	750
М100	870

В настоящее время в дорожном строительстве применяются следующие виды стабилизаторов: ПГСЖ-1 – грунтовый жидкий стабилизатор на основе Консолид 444; ПГСБ-2 – жидкий стабилизатор битумосодержащий на основе Консервекс; ПГСП-3 – полифилизатор грунтовый порошковый на основе Солидрай. Полифилизаторы катализируют необратимые изменения мелких частиц грунта и активизирует связывающую функцию частиц для превращения в более крупную, стабильную и прочную фракцию. Производители материалов для стабилизации грунтов предлагают широкую номенклатуру продукта, который должен обеспечить те или иные свойства грунтового массива.

Для материалов, обработанных стабилизатором или комплексным вяжущим расчетные характеристики, а именно их расчётные модули упругости в действующей нормативной документации по расчёту дорожных одежд отсутствуют. В связи с этим невозможно произвести расчёт дорожной одежды с применением в рабочем слое земляного полотна стабилизированных грунтов. В то же время расчетные характеристики «ПГСЖ 1» вместе с «ПГСП 3» или «ПГСЖ 1» вместе с «ПГСБ 2» представлены в лицензионном программном комплексе по расчёту дорожных одежд – Indor Pavement, что даёт техническую возможность применения данных материалов при расчёте дорожных одежд. На сегодняшний день

такое состояние нормативной документации по расчёту дорожных одежд является уязвимым местом в доказательной базе при прохождении проектами органов Государственной экспертизы.

В программном комплексе Indor Pavement представлены

достаточно высокие расчётные модули упругости стабилизированного грунта от 200 МПа для песков и от 400 МПа для суглинков (см. табл. 5). В то же время согласно [24] для обеспечения минимального требуемого модуля упругости грунта рабочего слоя земляного полотна достаточно обеспечить марку М10, что соответствует расчётному модулю упругости 160 МПа.

Таблица 5

Стабилизированные		Укрепленные	
Название материала	Расчетный модуль упругости, МПа	Название материала	Расчетный модуль упругости, МПа
Суглинок легкий пылеватый+ПГСЖ-1+ПГСПЗ 1%	400	суглинки с числом пластичности до 12, обработанные цементом М10	160
Суглинок легкий пылеватый+ПГСЖ-1+ПГСПЗ 1,5%	500	М20	250
Суглинок легкий пылеватый+ПГСЖ-1+ПГСПЗ 2%	600	М40	400

Представленные в программном комплексе Indor Pavement модули упругости стабилизированных грунтов не соответствуют требованиям по расчётному модулю упругости на поверхности слоя [11]. Согласно нормативной документации [11], минимально необходимый расчётный модуль равен 160 МПа, соответствующий М10. В программе заложен заведомо больший модуль для стабилизированных грунтов. Например, в случае с суглинком совместно с ПГСЖ-1 модуль имеет значение 400 МПа, что в 2,5 раза больше минимальных значений для укрепленного грунта. Стоит также отметить, что модули упругости представленного

стабилизированного грунта превышают модули упругости неукрепленных материалов, которые могут применяться в основании дорожных одежд, например, щебёночно-песчаных смесей в 1,5 раза, а песков в 4. Данное положение нарушает принцип конструирования дорожных одежд, согласно которому модуль упругости слоёв должен плавно снижаться сверху вниз от слоя к слою [11]. Помимо этого, в программном комплексе отсутствуют значения модулей упругости близкие к минимальным по требованиям [11]. При этом, нет увязки с ПНСТ 542 в части расчетных модулей упругости для стабилизированных грунтов, что существенно ограничивает применение данных материалов при проектировании дорог.

Заключение

Детальное изучение свойств и характеристик стабилизированных грунтов позволит сформулировать рекомендации для подбора оптимального количества стабилизатора того или иного вида для различных типов грунтов, применяемых в рабочем слое земляного полотна, в частности, для мелкодисперстных глинистых грунтов, а также определить расчётные модули упругости стабилизированных грунтов низких марок по прочности.

Отсутствие в действующих нормативных документах по проектированию нежестких дорожных одежд расчётных характеристик стабилизированных грунтов (расчётные модули упругости) во многом сдерживает их применение в рабочем слое земляного полотна. В то же время, укрепление и стабилизация грунтов рабочего слоя земляного полотна снижают расходы на приобретение песчаных и щебёночных материалов и сокращают издержки на их транспортировку. Рассматриваемые технологии позволяют обеспечить требуемые межремонтные сроки службы дорожных одежд. Оптимизация бюджета на строительство дорог и сокращение сроков строительства могут быть достигнуты путем широкого вовлечения в технологический процесс сооружения рабочего слоя земляного полотна местных, в том числе некондиционных грунтов с применением технологии стабилизации.

Список источников

1. ТР ТС 014/2011 Технический регламент Таможенного союза «Безопасность автомобильных дорог» (с изменениями на 9 декабря 2011 года).
2. ГОСТ Р 58861-2020 Дороги автомобильные общего пользования. Капитальный ремонт и ремонт. Планирование межремонтных сроков. [Действ. с 01.08.2020] – М.: Стандартинформ, 2020.
3. СП 34.13330.2021 «СНиП 2.05.02-85* Автомобильные дороги». М.: Минстрой России, 2021.
4. ГОСТ 8736-2014 Песок для строительных работ. Технические условия (с Поправками, с Изменением N 1), ГОСТ 25607-2009 Смеси щебеночно-гравийно-песчаные для покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия.
5. ВСН 46-72. Действ. с 01.01.84 по 31.12.2000]. – М.: Транспорт, 1985. – 157 с
6. ОДН 218.046-01 Проектирование нежестких дорожных одежд [Взамен ВСН46-83. Действ. с 01.01.2001 по 12.02.2023] // Официальное издание. – М.: Информавтодор, 2001.
7. Разуваев, Д.А. Определение деформационных параметров верхней части рабочего слоя земляного полотна / Д.А. Разуваев // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2013. – № 4(32). – С. 71-75.
8. Оценка эффективности применения стабилизаторов серии "Чим-сто" в грунтах, укрепленных неорганическими вяжущими / А.И. Траутвайн, А.Е. Акимов, Е.А. Яковлев [и др.] // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2017. – № 12. – С. 6-13. – DOI 10.12737/article_5a27cb7c733e24.73795944.
9. Горячев, М.Г. К вопросу о заимствовании норм ФРГ на минимальный модуль деформации рабочей части земляного полотна для расчёта дорожных одежд в России / М.Г. Горячев // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2020. – №1 (23). – С. 3.
10. Горячев, М.Г. Оценка ожидаемых значений модулей упругости глинистых грунтов при строительстве земляного полотна автомобильных дорог/ М.Г. Горячев // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2020. – №2 (24). – С. 6.
11. ПНСТ 542-2021 Дороги автомобильные общего пользования. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования (с Поправками) // Официальное издание. – М.: Стандартинформ, 2021.
12. SOIL STABILIZATION Charles E. Thompson, Jr., Martinsburg, W. Va., assignor to Products Development Company, Jefferson County, W. Va., a corporation of West Virginia No Drawing. Filled June 19, 1961, Ser. No. 117,774 20 Claims. (С. 106-63).
13. Головачев, Е. Обь устройствъ земскихъ дорогъ и отношнн ихъ къ желъзнымъ путямъ для развитя производительности Росснн / Е. Головачев. – Кнвъ : Инженеръ Колежскнй Совътникъ, 1870. – 210 с.
14. Филатов, М.М. Почвы ЦПО в связи с их исследованностью и мелиорированием / М.М. Филатов // Труды Госплана. – 1925. – кн. 5. – вып. 1.

15. Технические указания по комплексным методам укрепления грунтов цементом с применением добавок химических веществ при устройстве дорожных и аэродромных оснований и покрытий. ВСН 158-69 / Минтрансстрой СССР: Утв. Техн. упр. 22/VII 1969 г. / М-во трансп. строительства СССР. – М.: Оргтрансстрой, 1969. – 80 с.
16. Безрук, В. М. Основы стабилизации грунтов в дорожном строительстве В.М. Безрук, А. И. Лысихина. – М.: Дориздат, 1944. – 90 с.
17. Руководство по грунтам и материалам, укрепленным органическими вяжущими официальное издание /Р осавтодор [Действ. с 15.03.2003]. – М.: ФГУП «ИНФОРМАВТОДОР», 2003.
18. Могилевич, В.М. Содружество вуза и производства / В.М. Могилевич Н.Г. Олейник. – М., 1964 г.
19. Glossop R. The invention and development of injection process. Geotechnique, sept. 1960. – dec. 1961
20. О терминологии // Автомобильные дороги. – 1968. – № 11. – С. 29
21. Göbel Claus, Lieberenz Klaus, Richter Frank. Der Eisenbahnunterbau. DB-Fachbuch, Bd. 8/20. Heidelberg ; Mainz : Eisenbahn-Fachverl., 1996. – 346 S.
22. ГОСТ 30491-2012 Смеси органоминеральные и грунты, укрепленные органическими вяжущими, для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия. [Действ. с 01.11.2013]. – М.: Стандартинформ, 2019.
23. ГОСТ Р 70452-2022 Дороги автомобильные общего пользования. Грунты стабилизированные и укрепленные неорганическими вяжущими. Общие технические условия. [Действ. с 01.01.2023]. – М.: ФГБУ «РСТ», 2022.

References

1. TR TS 014/2011 Tekhnicheskiy reglament Tamozhennogo soyuza «Bezopasnost' avtomobil'nykh dorog» (s izmeneniyami na 9 dekabrya 2011 goda) (TR CU 014/2011 Technical Regulation of the Customs Union "Safety of Roads" (as amended on December 9, 2011)).
2. GOST R 58861-2020 Dorogi avtomobil'nyye obshchego pol'zovaniya. Kapital'nyy remont i remont. Planirovaniye mezhremontnykh srokov. (GOST R 58861-2020 Roads for public use. Major repairs and repairs. Planning of inter-repair periods), Moscow, Standardinform, 2020.
3. SP 34.13330.2021 «SNiP 2.05.02-85* Avtomobil'nyye dorogi». (SP 34.13330.2021 "SNiP 2.05.02-85* Highways"), Moscow, Minstroy Rossii, 2021.
4. GOST 8736-2014 Pesok dlya stroitel'nykh rabot. Tekhnicheskiye usloviya (s Popravkami, s Izmeneniyem N 1), GOST 25607-2009 Smesi shchebenochno-graviyno-peschanyye dlya pokrytiy i osnovaniy avtomobil'nykh dorog i aerodromov. Tekhnicheskiye usloviya (GOST 8736-2014 Sand for construction works. Technical conditions (as amended, Amended N 1), GOST 25607-2009 Crushed stone-gravel-sandy mixtures for pavements and bases of highways and airfields. Technical conditions).

5. VSN 46-72. Deystv. s 01.01.84 po 31.12.2000] (To replace BCH 46-72. In force from 01.01.84 up to 31.12.2000)], Moscow, Transport, 1985, 157 p.
6. ODN 218.046-01 Projektirovaniye nezhestkikh dorozhnykh odezhd [Vzamen VSN 46-83. Deystv. s 01.01.2001 po 12.02.2023] (ODN 218.046-01 Design of non-rigid road pavements [Of substitute for VSN 46-83. Valid from 01.01.2001 to 12.02.2023]), Moscow, Informavtodor, 2001.
7. Razuvayev D.A. *Vestnik Sibirskoy gosudarstvennoy avtomobil'no-dorozhnoy akademii*, 2013, no. 4(32), pp. 71-75.
8. Trautvain A.I., Akimov A.E., Yakovlev E.A., Chernogil V.B., Lukashuk A.G. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova*, 2017, no.12, pp. 6-13.
9. Goryachev M.G. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*, 2020, no.1 (23), pp.3.
10. Goryachev M.G. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*, 2020, no.2 (24), pp.5.
11. PNST 542-2021 Dorogi avtomobil'nyye obshchego pol'zovaniya. Nezhestkiye dorozhnyye odezhdyy. Pravila projektirovaniya (s Popravkami) (PNST 542-2021 Public Roads. Non-rigid road pavements. Design rules (with Amendments)), Moscow, Standartinform, 2021.
12. SOIL STABILIZATION Charles E. Thompson, Jr., Martinsburg, W. Va., assignor to Products Development Company, Jefferson County, W. Va., a corporation of West Virginia No Drawing. Filed June 19, 1961, Ser. No. 117,774 20 Claims. (C. 106-63).
13. Golovachev E. Ob "ustroyst" zemskikh "dorog" i otnoshnii ikh" k "zheleznyam" putyam" dlya razvitiya proizvoditel'nosti Rossii (About device zemstvo roads and their relation to railway ways for development of productivity of Russia), Kiev, Inzhener" Kolezhskiy Sov"tnik", 1870, 210 p.
14. Filatov M.M. *Trudy Gosplana*, 1925, book 5, vol. 1.
15. Tekhnicheskiye ukazaniya po kompleksnym metodam ukrepleniya gruntov tsementom s primeneniym dobavok khimicheskikh veshchestv pri ustroystve dorozhnykh i aerodromnykh osnovaniy i pokrytiy. VSN 158-69 (Technical Guidelines for comprehensive methods of strengthening soils with cement with the use of chemical additives in the construction of road and airfield foundations and coatings. VSN 158-69), Moscow, Orgransstroy, 1969, 80 p.
16. Bezruk V.M., Lysikhina A.I. *Osnovy stabilizatsii gruntov v dorozhnom stroitel'stve* (Fundamentals of soil stabilization in road construction), Moscow, Dorizdat, 1944, 90 p.
17. Rukovodstvo po gruntam i materialam, ukreplennym organicheskimi vyazhushchimi ofitsial'noye izdaniye (Guide to soils and materials, reinforced with organic binders the official edition), Moscow, FGUP "INFORMAVTODOR", 2003.
18. Mogilevich V.M., Oleinik N.G. *Sodruzhestvo vuza i proizvodstva* (Commonwealth of higher education institutions and production), Moscow, 1964.
19. Glossop R. The invention and development of injection process. *Geotechnique*, sept. 1960 - dec. 1961.

20. *Avtomobil'nyye dorogi*, 1968, no.11, pp. 29.
21. Göbel Claus, Lieberenz Klaus, Richter Frank. Der Eisenbahnunterbau. DB-Fachbuch, Bd. 8/20. Heidelberg ; Mainz : Eisenbahn-Fachverl., 1996. - 346 p.
22. GOST 30491-2012 Smesi organomineral'nyye i grunty, ukreplennyye organicheskimi vyazhushchimi, dlya dorozhnogo i aerodromnogo stroitel'stva. Tekhnicheskiye usloviya (GOST 30491-2012 Organomineral mixtures and grounds reinforced by organic binders for road and airfield construction. Technical specifications), Moscow, Standardinform, 2019.
23. GOST R 70452-2022 Dorogi avtomobil'nyye obshchego pol'zovaniya. Grunty stabilizirovannyye i ukreplennyye neorganicheskimi vyazhushchimi. Obshchiye tekhnicheskiye usloviya (GOST R 70452-2022 Public roads. Soils stabilized and strengthened by inorganic binders. General technical conditions), Moscow, 2022.

Рецензент: К.А. Кузин, начальник Управления лабораторного контроля,
ООО «Автодор-Инжиниринг»

Информация об авторах

Каленова Екатерина Валерьевна, канд. техн. наук, доц., МАДИ.

Феофанова Полина Михайловна, аспирант, МАДИ.

Козлов Андрей Владимирович, канд. техн. наук, нач. отдела,
ООО «Автодор-Инжиниринг».

Information about the authors

Kalenova Ekaterina V., Ph.D., associate professor, MADI.

Feofanova Polina M., postgraduate, MADI.

Kozlov Andrey V., Ph.D., department head, LLC Avtodor-Engineering.

Статья поступила в редакцию 07.06.2023; одобрена после рецензирования 18.09.2023; принята к публикации 21.09.2023.

The article was submitted 07.06.2023; approved after reviewing 18.09.2023; accepted for publication 21.09.2023.