Интернет-журнал «Транспортные сооружения» <https://t-s.today>
Russian journal of transport engineering

2019, №2, Том 6 / 2019, No 2, Vol 6 <https://t-s.today/issue-2-2019.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/09SATS219.pdf>

DOI: 10.15862/09SATS219 (<http://dx.doi.org/10.15862/09SATS219>)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Левкович Т.И., Мевлидинов З.А., Тулянкина Н.А., Вишталенко М.В. Исследование прочности песчаных грунтов, укрепленных цементом с добавкой «ДорЦем ДС-1», для использования при строительстве оснований автомобильных дорог // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2019 №2, <https://t-s.today/PDF/09SATS219.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/09SATS219

For citation:

Levkovich T.I., Mevlidinov Z.A., Tuljankina N.A., Vishtalenko M.V. (2019). The study of strength of sandy soils reinforced with cement with the addition of "DorZem Ds-1", for use in the construction of foundations of roads. *Russian journal of transport engineering*, [online] 2(6). Available at: <https://t-s.today/PDF/09SATS219.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/09SATS219

УДК 666.946.7

Левкович Татьяна Ивановна

ФГБОУ «Брянский государственный инженерно-технологический университет», Брянск, Россия
Доцент
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: tilevkovich@mail.ru

Мевлидинов Зелгедин Алаудинович

ФГБОУ «Брянский государственный инженерно-технологический университет», Брянск, Россия
Доцент
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: zelgedinm@yandex.ru

Тулянкина Наталья Александровна

ФГБОУ «Брянский государственный инженерно-технологический университет», Брянск, Россия
Ассистент
E-mail: stepan.1998@mail.ru

Вишталенко Максим Васильевич

ФГБОУ «Брянский государственный инженерно-технологический университет», Брянск, Россия
Студент 2 курса магистратуры
E-mail: wishtalenkomax@mail.ru

Исследование прочности песчаных грунтов, укрепленных цементом с добавкой «ДорЦем ДС-1», для использования при строительстве оснований автомобильных дорог

Аннотация. В настоящее время перед дорожными организациями стоит проблема увеличения несущей способности слоев дорожной одежды. Эту проблему можно решить путем использования новых конструктивных решений, технологий и материалов. Использование местных дорожно-строительных материалов, отходов промышленности, стабилизация и укрепление грунтов в основаниях дорожных одежд позволит увеличить несущую способность дорожной одежды, уменьшить транспортные расходы на доставку материалов и снизить стоимость строительства.

Укрепление грунтов – комплекс мероприятий по повышению их прочности и водостойчивости.

В процессе укрепления грунтов для использования их в основаниях дорожной одежды основной задачей является получение нового строительного материала с заданными структурно-механическими свойствами.

Процесс укрепления является процессом структурообразования, новые связи создаются путем воздействия на грунт структурообразующих вяжущих веществ (цемент, известь, органические вяжущие и т. д.).

При стабилизации свойств грунтов, в основном содержания в грунтах воды, используют стабилизаторы. Ими обычно выступают гидрофобизирующие добавки. При укреплении грунтов можно использовать разные виды модификаторов: российских и зарубежных. Нами был использован модификатор «ДорЦем ДС-1». Он представляет собой порошкообразное вещество. Применение «ДорЦем ДС-1» принципиально изменяет процесс кристаллизации. Механизм связывания частиц грунта меняется от «склеивания» к «сплетению» – при попадании «ДорЦем ДС-1» в грунт начинают формироваться длинноигольчатые кристаллические связи, которые «оплетают» все элементы. По прочности они, как кевларовые нити (прочные, гибкие). За счет этого получают прочные, износостойкие конструкции.

Несколько лет подряд по заданию дорожных строительных организаций города Брянска сотрудниками кафедры «Автомобильные дороги» БГИТУ проводились исследования по укреплению глинистых грунтов.

В последнее время дорожные организации стали предпочитать песчаные грунты. Их в Брянской области достаточно, но они, в основном, мелкозернистые и пылеватые.

Выполняя задание ООО «Брянской дорожно-строительной компании №1», нами предварительно был установлен зерновой состав песчаного грунта. Определены его плотность и влажность. Из пылеватого песка были изготовлены образцы укрепленного грунта с использованием портландцемента марки 400, модифицирующей добавки «Дорцем ДС-1» и воды для затворения, проведены испытания. Образцы имели кубовидную форму размерами: 10х10х10 см и 7х7х7 см.

Предел прочности при сжатии определяли, как среднее значение четырех образцов в серии, изготовленных из смеси одного состава. Возраст образцов во время испытаний составлял 28 суток, что соответствует марочной прочности при основном минеральном вяжущем 1-го вида (портландцементе) – ГОСТ23558-94 п.6.1.

Проведенные лабораторные испытания образцов из грунта, обработанного цементом и цементом плюс добавка «ДорЦем ДС-1», показали, что наибольшую прочность можно достичь при добавлении в грунт 12 % цемента сверх массы грунта и 3 % добавки. Полученная в этом случае прочность равна 4,882 МПа, то есть около 5 МПа.

При изготовлении образцов из укрепленного грунта одним цементом (12 % сверх массы грунта) прочность значительно ниже 3,712 МПа. Эта закономерность наблюдается и при других составах рецептов.

Применение добавки «ДорЦем ДС-1» при укреплении грунтов позволяет повысить показатели водостойкости и морозостойкости, исключить образование трещин.

Вклад авторов.

Левкович Татьяна Ивановна – автор приняла участие в подготовке материала (песка, портландцемента, модификатора «Дорцем ДС-1») для приготовления образцов, в проведении

лабораторных испытаний, проанализировала и интерпретировала собранный материал по теме исследований, осуществила написание статьи.

Мевлидинов Зелгедин Алаудинович – автор принял участие в проведении лабораторных испытаний и одобрил окончательную версию статьи перед её подачей для публикации.

Тулянкина Наталья Александровна – автор внес существенный вклад в проведении лабораторных испытаний, в обработке результатов; проверке статьи на величину заимствований.

Вишталенко Максим Васильевич – автор принял участие в проведении лабораторных испытаний.

Ключевые слова: грунт; гранулометрический состав; физико-механические свойства; вяжущие; цемент; стабилизация; укрепление; рецепт; модифицирующие добавки; результаты; прочность; морозостойкость

Введение

С каждым годом на автомобильных дорогах нашей страны происходит стремительное увеличение грузопотока. Это приводит к тому, что нагрузки, воздействующие на автомобильные дороги, могут превышать, а в некоторых случаях уже значительно превышают несущую способность существующих дорожных одежд. Использование устаревших материалов, технологий и конструктивных решений при строительстве или реконструкции автомобильных дорог не может привести к увеличению несущей способности конструктивных слоев дорожной одежды, а наоборот сократит межремонтные сроки.

Проблема увеличения несущей способности рабочих слоев дорожной одежды в настоящее время является наиболее актуальной в дорожном строительстве.

Во многих странах проблему решают за счет применения новых конструктивных решений, технологий и материалов. Это позволяет обеспечить долговечность дорожной одежды и, в целом, автомобильной дороги, а также получить экономический эффект на момент строительства и за счёт увеличения межремонтного срока эксплуатации.

В нашей стране решением этой проблемы может быть использование местных дорожно-строительных материалов, отходов промышленности (шлаков, зол уноса и т. д.), а также стабилизация и укрепление грунтов.

Под укреплением грунтов понимают комплекс мероприятий по повышению их прочности и водоустойчивости.

Укрепление грунтов может быть: химическое (введение в грунт химических реагентов), механическое (разные виды уплотнения), термическое (обжиг глин и песков при устройстве скважин для набивных свай), комбинированное [1–4].

При химическом укреплении грунтов протекают различного вида реакции в грунте. Молекулы воды являются диполями. Ядра грунтов могут быть заряжены положительно и отрицательно. При взаимодействия химических реагентов между собой и с компонентами грунта проявляются связи, обеспечивающие укрепленным грунтам долговечность приобретенных строительных свойств (прочности, водостойкости и др.). Технологический процесс укрепления грунтов включает следующие операции: измельчение грунтовых агрегатов дорожной фрезой за 1...3 прохода по одному следу, дозирование вяжущих, перемешивание вяжущих с грунтом, увлажнение, уплотнение. Такая технология обеспечивает высокую плотность, прочность и длительную устойчивость укрепленного грунта. Основной задачей

процесса укрепления грунтов является получение нового строительного материала с заданными структурно-механическими свойствами согласно предлагаемого рецепта [5–12].

В тех районах строительства, где нет местных месторождений каменных материалов, возникает необходимость в доставке строительных материалов за многие сотни километров, что увеличивает первоначальную стоимость материалов примерно в 4–6 раз и является главной причиной значительного удорожания дорожного строительства. Традиционно в нашей стране для оснований дорожных одежд использовали в большом количестве щебень.

В Брянской области нет запасов каменных материалов. Щебень для строительства, ремонта и реконструкции автомобильных дорог необходимо доставлять из месторождений Беларуси и Ростовской области.

Для снижения стоимости дорожных одежд вместо каменных материалов можно использовать местные грунты, укрепленные различными вяжущими.

В нашей стране преобладают связные глинистые грунты (86 %) и совсем немного песчаных (около 14 %). Укрепление глинистых грунтов (супесей, суглинков и, особенно, глин) наиболее трудоемкий процесс по сравнению с укреплением песчаных. Число пластичности (I_p) глин при их укреплении не должно превышать 22 [5–8].

В Брянской области также преобладают глинистые грунты, но местные дорожно-строительные организации при укреплении грунтов предпочтение отдают песчаным. Песок в основном мелкий и пылеватый. Только в нескольких районах области имеются месторождения крупнозернистого песка (в Суражском и Клиновском районах) и среднезернистого (в Трубчевском районе), в Брянском и других районах преобладают мелкие и пылеватые пески.

Методы

Укрепление грунтов отличается от их стабилизации. Укрепление грунтов происходит путем создания новых прочных и водостойких связей между частицами и агрегатами. Создание новых связей приводит к образованию новой структуры или усилению ранее существующей структуры грунта. Процесс укрепления является процессом структурообразования, новые связи создаются путем воздействия на грунт структурообразующих вяжущих веществ (цемент, известь, органические вяжущие и т. д.) [5–13].

Для активизации работы «вяжущих» добавляются специализированные модификаторы и стабилизаторы.

При стабилизации свойств грунтов, в основном содержания в грунтах воды, используют стабилизаторы. Ими обычно выступают гидрофобизирующие добавки.

На рынке дорожно-строительных материалов предлагают различные виды жидких и порошковых модификаторов и стабилизаторов грунтов. Продавцы заявляют о них, как об универсальных добавках, используемых для укрепления и стабилизации грунтов и слоев дорожных одежд из других материалов. Практика показывает, что большинство из них выполняют роль только гидрофобизирующей добавки, то есть стабилизатора. Примером может служить неудачное строительство оснований автомобильной дороги в ООО «Вепрь» Смоленской области.

Считается, что с помощью стабилизации изменяется в положительную сторону весь комплекс водно-физических свойств глинистого грунта, увеличивается его гидрофобность, снижаются водопроницаемость, пучинистость и набухаемость [14–15].

Жидкие стабилизаторы обычно продаются в виде концентратов. Перед использованием их необходимо разбавить водой с учетом концентрации. Обычно сложно учесть установленную рецептом пропорцию разбавления при укреплении (стабилизации) грунтов на переувлажненных участках, а также при изменении погодных условий (дождей), изменяющих водный баланс в грунте. Нами накоплен отрицательный опыт укрепления переувлажненных грунтов в Липецкой области при строительстве оснований под дорожное цементобетонное покрытие, а также при укреплении оснований под цементобетонные полы на свином комплексе. Исследования выполнялись по заданию строительной организации «Союз мастеров» города Брянска.

При формировании образцов под прессом в цилиндрических формах нагрузка была стабильной. Поэтому образцы, даже после их водонасыщения, имели прочность около 5,0 МПа.

На практике при строительстве оснований во время дождливой погоды полученная экспериментально прочность не подтвердилась. Извлеченные образцы из построенного основания в 28-и суточном возрасте имели прочность около 2,0 МПа, в отличие от участков, построенных в сухую погоду.

При укреплении таких грунтов происходит изначальное нарушение технологии, приводящее к негативным последствиям (плохому перемешиванию компонентов, уменьшению прочности и т. д.).

Результаты

При изучении имеющейся научно-технической литературы, использовании накопившегося опыта по укреплению разных видов грунтов с использованием разнообразных добавок и вяжущих наше внимание привлекли модификаторы для дорожного и аэродромного строительства: «nanoSTAB», «ANT», «ДорЦем ДС-1».

«NanoSTAB» – полимерная эмульсия, представляющая собой водную дисперсию стирол-бутадиен-полимера SiO_2 . Данный модификатор создает прочные кристаллизационные и коагуляционные связи в грунте. Его необходимо применять совместно с минеральным вяжущим веществом. Использование такого модификатора способствует повышению физико-механических характеристик и снижению расхода минерального вяжущего.

Отечественный стабилизатор «ANT» – поверхностно-активное вещество. Органический стабилизатор создает посредством химических реакций новые кристаллические связи из макро- и микроэлементов, находящихся в грунте.

Воздействие «ANT» заключается в химической окислительной реакции в грунте, в результате которой возникают новые кристаллические решетки-соединения, скрепляющие молекулы грунта.

Модификатор «ДорЦем ДС-1» разработан НПО МГТ России. НПО МГТ разрабатывает, производит, поставяет и внедряет российские комплексные вяжущие материалы и добавки, в том числе модификатор для дорожного и аэродромного строительства «ДорЦем ДС-1». Считается, что «ДорЦем ДС-1» не оказывает химического воздействия на окружающую среду. Он представляет собой порошкообразное вещество.

При использовании модификатора «ДорЦем ДС-1» его необходимо предварительно распределить по поверхности измельченного грунта. Количество должно соответствовать рецепту. Для этого заранее разрабатывают технологическую карту на производство работ. Также при производстве работ необходимо осуществлять постоянный контроль и вести необходимую коррекцию рецепта в случае изменения влажности укрепляемого грунта.

Перемешивание модификатора с грунтом можно осуществить дорожной фрезой или ресайклером. При использовании ресайклера регулируют подачу воды в ресайклер, изменяя влажность до оптимального значения.

При применении модификатора «ДорЦем ДС-1» изменяется процесс кристаллизации. При обычном укреплении грунта существует механизм связывания частиц путем их «склеивания». При попадании модификатора «ДорЦем ДС-1» в грунт начинают формироваться длинноигльчатые кристаллические связи, которые «оплетают» все элементы. По прочности они, как кевларовые нити (прочные, гибкие). За счет этого получают прочные, износостойкие конструкции. Использование модификатора «ДорЦем ДС-1» превращает механизм связывания частиц грунта от «склеивания» к «сплетению».

При эксплуатации дорожной одежды любой дороги нагрузка от колес проезжающего автомобильного транспорта и давления шин распределяется с поверхности покрытия на нижележащие слои. Этими слоями служат: нижний слой покрытия и слои основания. Затем нагрузка передается на грунт земляного полотна. Величина активной зоны (зоны воздействия транспортной нагрузки по вертикали составляет в среднем 1,2...1,5 м).

Использование модификатора «ДорЦем ДС-1» повышает прочностные показатели укрепленных грунтов, увеличивает прочность, упругость, трещиностойкость и морозостойкость.

Проведенные технико-экономические расчеты показывают, что применение модификатора «ДорЦем ДС-1» при укреплении грунта в слое основания приводит к значительному снижению стоимости дорожного строительства, за счет уменьшения толщин вышележащих слоев основания и покрытия.

В настоящее время в дорожном строительстве известно большое число проектов с применением модификатора «ДорЦем ДС-1».

При проведении испытаний нами предварительно был определен гранулометрический состав местных песчаных грунтов Брянского района Брянской области (таблица 1).

Таблица 1

Определение гранулометрического состава грунта

N испытания	Масса	Усл. обозначение	Фракции грунта, мм							Сумма
			5–2	2–1	1–0,5	0,5–0,25	0,25–0,1	<0,1		
1	Масса тары (чашечки), г	q _T	49,00							
2	Масса тары с грунтом, г	q _{Ti}	149,00							
3	Масса фракции, г	q _i	3	4	6	9	10	68	100,00	
4	Содержание фракции, %	A	3	4	6	9	10	68	100,00	

Разработано авторами

Нами также рассматривалась возможность использования стабилизатора (модификатора бетонов) «МОБЕТ-ДОР». Этот стабилизатор превращает грунт в строительный материал с уникальными свойствами. Повышаются: водонепроницаемость, прочность, пластичность и морозостойкость. Материал с проведением нами испытаний стабилизированного грунта «МОБЕТ-ДОР» пока находится в стадии обработки.

В результате выполненной работы установили зерновой состав песчаного грунта и определили по строительной классификации, что данный грунт – песок пылеватый, так как суммарное содержание частиц диаметром крупнее 0,10 мм составляет менее 75 %.

Результат определения содержания глинистых, песчаных и пылеватых частиц приведен в таблице 2.

Таблица 2

Результаты содержания глинистых, песчаных и пылеватых частиц в песчаном грунте

Глинистые частицы				Песчаные частицы			Пылеватые
$V_n, \text{см}^3$	$V_k, \text{см}^3$	$V_n - V_k, \text{см}^3$	%	$V_n, \text{см}^3$	$V_k, \text{см}^3$	%	%
10,00	10,10	0,10	0,23	10,00	8,00	80,00	19,77

Разработано авторами

Для определения плотности грунта лабораторным путём использовался метод режущего кольца. Плотность грунта равна $1,87 \text{ г/см}^3$. В лабораторных условиях определяли естественную и гигроскопическую влажность грунта. Результаты определения представлены в таблице 3.

Таблица 3

Определение влажности грунта

Масса бюкса, г	Масса бюкса с влажным грунтом, г	Масса бюкса с высушенным грунтом, г	Влажность грунта, %
q_0	q_1	q_2	ω
14,50	58,70	53,42	12,00

Разработано авторами

Из пылеватого песка были изготовлены образцы укрепленного грунта с использованием портландцемента марки 400, модифицирующей добавки «ДорЦем ДС-1» и воды. Образцы имели кубовидную форму размерами: $10 \times 10 \times 10 \text{ см}$ и $7 \times 7 \times 7 \text{ см}$.

Для контроля были также изготовлены образцы из пылеватого песка, укрепленного только одним цементом. Количество цемента в этих образцах соответствовало количеству цемента с добавкой «ДорЦем ДС-1».

Цемент как любое вяжущее, используемое для укрепления грунтов, назначали сверх массы укрепляемого грунта.

Твердение образцов после их изготовления вплоть до проведения испытаний происходило в камере влажного хранения (экзикаторе). Первые сутки образцы были погружены в воду на $1/3$ своей высоты, затем во вторые сутки их полностью заливали водой для полного водонасыщения.

При укреплении грунтов цементом в результате взаимодействия цемента, воды, химических и физических активных составных частиц грунта возникает новая кристаллизационная структура, характеризующаяся большой прочностью и водостойкостью, но пониженной трещиностойкостью. Использование модификатора «ДорЦем ДС-1» позволяет повысить трещиностойкость укрепленного цементом грунта.

Были проведены испытания. Предел прочности при сжатии определили, как среднее значение четырех образцов в серии, изготовленных из смеси одного состава. Возраст образцов во время испытаний составлял 28 суток, что соответствует марочной прочности при основном минеральном вяжущем 1-го вида (портландцементе) – ГОСТ 23558-94 п.6.1 (таблица 4).

Таблица 4

Прочностные показатели укрепленного «ДорЦем ДС-1» песчаного грунта

№ рецепта	Дата изготовления образцов	Содержание, %		Дата испытания образцов	Средняя прочность образцов при сжатии, МПа
		Цемент сверх массы грунта	Добавка «ДорЦем ДС-1» сверх массы цемента		
Время набора прочности					28 суток
1	06.10.2018 г.	8,18	2,0	03.11.2018 г.	3,208
2	12.10.2018 г.	9,0	3,0	10.11.2018 г.	3,910
3	19.10.2018 г.	6,0	3,0	16.11.2018 г.	1,320
4	27.10.2018 г.	6,0	0,0	25.11.2018 г.	0,907

№ рецепта	Дата изготовления образцов	Содержание, %		Дата испытания образцов	Средняя прочность образцов при сжатии, МПа
		Цемент сверх массы грунта	Добавка «ДорЦем ДС-1» сверх массы цемента		
Время набора прочности					28 суток
5	27.10.2018 г.	8.0	0.0	25.11.2018 г.	2,117
6	27.10.2018 г.	9.0	0.0	25.11.2018 г.	3,402
7	27.10.2018 г.	12.0	0.0	25.11.2018 г.	3,712
8	31.10.2018 г.	12.0	3.0	30.11.2018 г.	4,882

Разработано авторами

Заключение

1. Проведенные лабораторные испытания образцов из грунта, обработанного цементом и цементом плюс добавка «ДорЦем ДС-1», показали, что наибольшую прочность можно достичь при добавлении в грунт 12 % цемента сверх массы грунта и 3 % добавки. Полученная в этом случае прочность равна 4,882 МПа, то есть около 5 МПа.
2. При изготовлении образцов из укрепленного грунта одним цементом (12 % сверх массы грунта) прочность значительно ниже 3,712 МПа. Эта закономерность наблюдается и при других составах рецептов.
3. Применение добавки «ДорЦем ДС-1» при укреплении грунтов позволяет повысить показатели водостойкости и морозостойкости, исключить образование трещин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Безрук В.М., Гурчиков И.Л., Агапова Р.А. Укрепленные грунты (Свойства и применение в дорожном и аэродромном строительстве). – М.: Транспорт, 1982. – 231 с.
2. Могилевич В.М. и др. Дорожные одежды из цементогрунта / Могилевич В.М., Щербакова Р.П., Тюменцева О.В. – М.: Транспорт, 1973. – 216 с.
3. Ржаницын Б.А. Химическое закрепление грунтов в строительстве. – М.: Стройиздат, 1986. – 264 с.
4. Голубь, Г.Н., Дехтерев, Д.С., Тумаков, С.А., Шмидт, А.А. Основания и фундаменты в дорожном строительстве: Учеб. пособие. – Ярославль: ЯГТУ, 2007. – 124 с.
5. Добров, Э.М., Шкицкий, Ю.А., Кочеткова, Р.И. Дорожное грунтоведение. Методы повышения несущей способности и стабильности грунтов». Учеб. пособие. Серия: "Высш. проф. образование. Бакалавриат". Изд-во: Academia, 2014. – 315 с. ISBN: 978-5-4468-0549-5.
6. Левкович Т.И., Мевлидинов З.А., Мевлидинов М.З. Исследование прочности глинистых грунтов, улучшенных добавкой шлака и укрепленных цементом, для использования их при строительстве автомобильных дорог. Материалы XX-ой международной научной (заочной) конференции: «Современные концепции научных исследований». – Россия, Москва, 27–28 ноября 2015. "Eurasian Union of Scientists". – С. 84–87 info@euroasia-science.ru.

7. Мевлидинов З.А., Левкович Т.И., Панов Д.А., Сидорович А.С., Туров Д.С. Исследование прочности глинистых грунтов, укрепленных комплексно, для использования их при строительстве оснований автомобильных дорог. Строительство и реконструкция. – Орел: ФГБОУ ВПО Госуниверситет – УНПК», 2015. – №6 (62). – С. 4–9.
8. Левкович Т.И., Мевлидинов З.А., Мевлидинов М.З., Панов Д.А., Туров Д.С. Исследование физико-механических характеристик глинистых грунтов для их дальнейшего использования при стабилизации в основаниях автомобильных дорог. Проблемы инновационного био-сферно-совместимого социально-экономического развития в строи-тельном, жилищно-коммунальном и дорожном комплексах: материалы 4-й междунар. науч.-практ. конф. – В 2-х томах. Т.2. – Брянск: БГИТУ, 2015. – С. 208–211.
9. Левкович Т.И., Мевлидинов З.А., Сидорович А.С., Вишталенко М.В., Воронин Е.И. Особенности стабилизации глинистых грунтов. Проблемы инновационного биосферно-совместимого социально-экономического развития в строительном, жилищно-коммунальном и дорожном комплексах: материалы 4-й междунар. науч.-практ. конф. – В 2-х томах. Т.2. – Брянск: БГИТУ, 2015. – С. 211–214.
10. Левкович Т.И., Лебедухо Е.А. Исследование прочности укрепленных грунтов, используемых для строительства оснований автомобильных дорог. «Строительство-2016»: материалы II Брянского междунар. инновац. молод. форума (Брянск, 29–30 нояб. 2016 г. Т.2 / Брян. гос. инженер.-технол. ун-т; ред. кол.: Н.П. Лукутцова, М.Ю. Прокуров, М.А. Сенющенков – Брянск, 2016. – 420 с. – С. 196–201.
11. Левкович Т.И., Мевлидинов З.А., Лебедухо Е.А. Исследование прочности укрепленных глинистых грунтов для использования их при строительстве оснований автомобильных дорог. Актуальные вопросы образования и науки: сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции 30 июня 2016 г. Часть 2. Тамбов: ООО «Консалдинговая компания Юком», 2016. – 124 с. – С. 67–72.
12. Левкович Т.И., Мевлидинов З.А., Сидорович А.С. Местные материалы и отходы промышленности, используемые для строительства оснований автомобильных дорог. Наука и инновации в XXI веке: актуальные вопросы, открытия и достижения: материалы V-ой междунар. науч.-практ. конф. – В 2-х частях. Ч.1. – Пенза: МЦНС «Наука и просвещение», 2017. – С. 57–60.
13. Солопова Н.А., Селезнева Ж.В., Филиппова Ю.О. Усиление грунтов и фундаментов объектов строительства с целью снижения эксплуатационных затрат // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2019 №1, том 6 <https://t-s.today/PDF/08SATS119.pdf> 9 (доступ свободный). Загл. с экрана. яз. рус., англ. DOI: 10.15862/08SATS119.
14. ОДМ 218.1.004-2011. Отраслевой дорожный методический документ. Классификация стабилизаторов грунтов в дорожном строительстве. – М.: Росавтодор, 2012. – 15 с.
15. Левкович Т.И., Мевлидинов З.А., Мащенко Т.В., Коновалов Д.С. Оценка возможных причин разрушений оснований автомобильных дорог. Интернет-журнал «Транспортные сооружения». Т.4 №4 (октябрь–декабрь 2017). – Саратов: Мир науки, 2017. – 13 с. <https://t-s.today/PDF/07TS417.pdf> (доступ свободный).

Levkovich Tatiana Ivanovna

Bryansk state engineering-technological university, Bryansk, Russia
E-mail: tilevkovich@mail.ru

Mevlidinov Zelgedin Alaudinovich

Bryansk state engineering-technological university, Bryansk, Russia
E-mail: zelgedinm@yandex.ru

Tuljankina Natalja Aleksandrovna

Bryansk state engineering-technological university, Bryansk, Russia
E-mail: stepan.1998@mail.ru

Vishtalenko Maksim Vasilyevich

Bryansk state engineering-technological university, Bryansk, Russia
E-mail: wishtalenkomax@mail.ru

The study of strength of sandy soils reinforced with cement with the addition of "DorZem Ds-1", for use in the construction of foundations of roads

Abstract. Currently, road organizations are faced with the problem of increasing the bearing capacity of the layers of road pavement. This problem can be solved by using new design solutions, technologies and materials. The use of local road construction materials, industrial waste, stabilization and strengthening of soils in the foundations of the pavement will increase the bearing capacity of the pavement, reduce transportation costs for the delivery of materials and reduce the cost of construction.

Strengthening of soils – a set of measures to improve their strength and water resistance. In the process of strengthening the soils for use in the foundations of the pavement the main task is to obtain a new building material with the desired structural and mechanical properties. The process of strengthening is a process of structure formation, new connections are created by influencing the soil structure-forming binders (cement, lime, organic binders, etc.).

When stabilizing the properties of soils, mainly the content of water in the soil, use stabilizers. They usually are water-repellent additives. When strengthening the soil can use different types of modifiers: Russian and foreign. We used the modifier "Dorzem DS-1". It is a powdery substance. The use of "Dorzem DS-1" fundamentally changes the process of crystallization. The mechanism of binding of soil particles changes from "bonding" to the "plexus" – when hitting the "Dorzem DS-1" in the ground begin to form crystalline dlinnorylye of communication, which "envelop" all the elements. On the strength of they, like Kevlar thread (strong, flexible). Due to this, strong, wear-resistant structures are obtained (cement, lime, organic binders, etc.).

Several years in a row on the instructions of road construction organizations of the city of Bryansk employees of the Department "Roads" BGITU conducted research to strengthen clay soils. Recently, road organizations began to prefer sandy soils. They are enough in the Bryansk region, but they are mostly fine-grained and dusty. Performing the task of LLC "Bryansk road construction company №1", we have previously been installed grain composition of sandy soil. Its density and humidity were determined. From the silty sand specimens have been fabricated reinforced soil using Portland cement grade 400, modifiers the "Palace area DS-1" and water for mixing, tested. The samples had cuboid shape with dimensions: 10x10x10 cm and 7x7x7 cm.

The compressive strength was determined as the average value of four samples in a series made from a mixture of one composition. The Age of the samples during the tests was 28 days, which

corresponds to the brand strength of the main mineral binder of the 1st type (Portland cement) – GOST23558-94 p. 6.1.

Laboratory tests of samples from the soil treated with cement and cement plus the additive "Dorzem DS-1" showed that the greatest strength can be achieved by adding to the soil 12 % of the cement over the weight of the soil and 3 % of the additive. The strength obtained in this case is 4,882 MPa, i.e. about 5 MPa.

In the manufacture of samples of hardened soil cement with one (12 % in excess of the weight of the clay) strength is much lower 3,712 MPa.

This pattern is observed in other formulations of recipes. The use of additives "Dorzem DS-1" in strengthening the soil can improve the performance of water resistance and frost resistance, eliminate the formation of cracks.

Keywords: soil; particle size distribution; physical and mechanical properties; binders; cement; stabilization; strengthening; recipe; modifying additives; results; strength; frost resistance

REFERENCES

1. Bezruk V.M., Gorchakov I.L., Agapova R.A. (1982). *Ukreplyonnye grunty (Svoystva i primeneniye v dorozhnom i aehrodromnom stroitel'stve). [Fortified soils (Properties and application in road and airfield construction).]* Moscow: Transport, p. 231.
2. Mogilevich V.M., Shcherbakova R.P., Tyumentseva O.V. (1973). *Dorozhnye odezhdy iz tsementogrunta. [Road clothes from cement ground.]* Moscow: Transport, p. 216.
3. Rzhantsyn B.A. (1986). *Khimicheskoe zakrepleniye gruntov v stroitel'stve. [Chemical consolidation of soils in construction.]* Moscow: Stroyizdat, p. 264.
4. Golub' G.N., Dekhterev D.S., Tumakov S.A., Shmidt A.A. (2007). *Osnovaniya i fundamenti v dorozhnom stroitel'stve. [Foundations and foundations in road construction.]* Yaroslavl: Yaroslavl State Technical University, p. 124.
5. Dobrov E.M., Shkitskiy Yu.A., Kochetkova R.I. (2014). *Dorozhnoye gruntovedeniye. Metody povysheniya nesushchey sposobnosti i stabil'nosti gruntov. [Road soil science. Methods to improve the carrying capacity and stability of the soil.]* Moscow: Academia, p. 315. ISBN: 978-5-4468-0549-5.
6. Levkovich T.I., Mevlidinov Z.A., Mevlidinov M.Z. (2015). *Issledovaniye prochnosti glinistykh gruntov, uluchshennykh dobavkoy shlaka i ukreplennykh tsementom, dlya ispol'zovaniya ikh pri stroitel'stve avtomobil'nykh dorog. [The study of the strength of clay soils, improved by the addition of slag and reinforced with cement, for use in the construction of roads.]* Moscow: Eurasian Union of Scientists, pp. 84–87.
7. Mevlidinov Z.A., Levkovich T.I., Panov D.A., Sidorovich A.S., Turov D.S. (2015). *Investigation of the strength of clayey soils reinforced comprehensively, for use in the construction of foundations of roads. Construction and reconstruction. State University educational, scientific and industrial complex, 6(62), pp. 4–9 (in Russian).*
8. Levkovich T.I., Mevlidinov Z.A., Mevlidinov M.Z., Panov D.A., Turov D.S. (2015). *Issledovaniye fiziko-mekhanicheskikh kharakteristik glinistykh gruntov dlya ikh dal'neyshego ispol'zovaniya pri stabilizatsii v osnovaniyakh avtomobil'nykh dorog. Problemy innovatsionnogo bio-sferno-sovmestimogo sotsial'no-ehkonomicheskogo razvitiya v stroi-tel'nom, zhilishchno-kommunal'nom i dorozhnom kompleksakh. V*

- 2-kh tomakh. Tom 2. [*Investigation of the physical and mechanical characteristics of clay soils for their further use in stabilization in the foundations of highways. Problems of innovative bio-spherical-compatible socio-economic development in the construction, housing and road complexes. In 2 volumes. Volume 2.*] Bryansk: Bryansk State University of Engineering and Technology, pp. 208–211.
9. Levkovich T.I., Mevlidinov Z.A., Sidorovich A.S., Vishtalenko M.V., Voronin E.I. (2015). Osobennosti stabilizatsii glinistyykh gruntov. Problemy innovatsionnogo biosferno-sovmestimogo sotsial'no-ehkonomicheskogo razvitiya v stroitel'nom, zhilishchno-kommunal'nom i dorozhnom kompleksakh. V 2-kh tomakh. Tom 2. [*Features stabilization of clay soils. Problems of innovative biosphere-compatible socio-economic development in the construction, housing and utilities and road complexes. In 2 volumes. Volume 2.*] Bryansk: Bryansk State University of Engineering and Technology, pp. 211–214.
 10. Levkovich T.I., Lebedukho E.A. Ed. by N.P. Lukutsova, M.Yu. Prokurov, M.A. Senyushchenkov (2016). Issledovanie prochnosti ukreplennykh gruntov, ispol'zuemykh dlya stroitel'stva osnovaniy avtomobil'nykh dorog. «Stroitel'stvo-2016». Tom 2. [*The study of the strength of fortified soil used for the construction of the foundations of roads. "Construction 2016". Volume 2.*] Bryansk: Bryansk State University of Engineering and Technology, p. 420, pp. 196–201.
 11. Levkovich T.I., Mevlidinov Z.A., Lebedukho E.A. (2016). Issledovanie prochnosti ukreplennykh glinistyykh gruntov dlya ispol'zovaniya ikh pri stroitel'stve osnovaniy avtomobil'nykh dorog. Aktual'nye voprosy obrazovaniya i nauki. Chast' 2. [*The study of the strength of fortified clay soils for use in the construction of the foundations of roads. Current issues of education and science. Part 2.*] Tambov: Consulting Company Ucom LLC, p. 124, pp. 67–72.
 12. Levkovich T.I., Mevlidinov Z.A., Sidorovich A.S. (2017). Mestnye materialy i otkhody promyshlennosti, ispol'zuemye dlya stroitel'stva osnovaniy avtomobil'nykh dorog. Nauka i innovatsii v XXI veke: aktual'nye voprosy, otkrytiya i dostizheniya. V 2-kh chastyakh. Chast' 1. [*Local materials and industrial waste used for the construction of road bases. Science and innovation in the 21st century: current issues, discoveries and achievements. In 2 parts. Part 1.*] Penza: International Center for Scientific Cooperation "Science and Education", pp. 57–60.
 13. Solopova N.A., Selezneva Zh.V., Filippova Yu.O. (2019). Strengthening of soil and foundations of construction objects in order to reduce operating costs. *Russian journal of transport engineering*, [online] 1(6). Available at: <https://t-s.today/PDF/08SATS119.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/08SATS119.
 14. (2012). ODM 218.1.004-2011. Otrasevoy dorozhnyy metodicheskiy dokument. Klassifikatsiya stabilizatorov gruntov v dorozhnom stroitel'stve. [*ODM 218.1.004-2011. Industry road guidance document. Classification soil stabilizers in road construction.*] Moscow: Rosavtodor, p. 15.
 15. Levkovich T.I., Miladinov Z.A., Mashchenko T.V., Konovalov D.S. (2019). Evaluation of possible causes of destruction of the foundations of roads. *Russian journal of transport engineering*, [online] 4(4). Available at: <https://t-s.today/PDF/07TS417.pdf> (in Russian).