DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-1-30-38

*Дмитриева Т.В., кандидат технических наук,
Маркова И.Ю., кандидат технических наук,
Строкова В.В. *, доктор технических наук, профессор,
Безродных А.А., аспирант,
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия,
Куцына Н.П., кандидат технических наук,
ОГКУ «Управление дорожного хозяйства и транспорта Белгородской области», Россия*
*Ответственный автор E-mail: vvstrokova@gmail.com

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СТАБИЛИЗАТОРОВ РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА ПРИ УКРЕПЛЕНИИ ГРУНТОВ МИНЕРАЛЬНЫМ ВЯЖУЩИМ

Аннотация: истощение природных месторождений традиционного инертного минерального сырья (песок, щебень), применяемого для устройства эффективных слоев оснований автомобильных дорог, ведет к разработке и применению новых технологий и альтернативных материалов. Одним из путей решения обозначенной проблемы является использование местных сырьевых ресурсов. Так, для устройства нижнего слоя основания автомобильной дороги часто применяют местные грунты. Однако, их использование связано с разработкой комплекса мер по повышению эффективности их работы, таких как стабилизация (путем применения химических добавок) и/или укрепление (путем введения различных видов вяжущих). В этой связи в работе проведен анализ физико-механических характеристик укрепленных глинистых грунтов, полученных путем введения различных типов стабилизирующих добавок в присутствии неорганического минерального вяжущего гидратационного типа твердения – цемента – с учетом рекомендаций к применяемым добавкам. Объектом исследований явился наиболее распространенный представитель глинистых грунтов Белгородской области – суглинок тяжелый пылеватый. В результате проведенных исследований авторами установлена целесообразность применения рассматриваемых добавок в присутствии цемента, выявлены наиболее эффективные составы укрепленного грунта, способствующие улучшению его нормируемых физико-механических характеристик. Кроме того, установлена необходимость дополнительных исследований с целью корректировки рекомендуемых составов укрепленного грунта.

Ключевые слова: дорожное строительство, укрепление грунтов, стабилизирующая добавка, цемент, плотность, прочность, морозостойкость

Введение

Развитие дорожной отрасли Российской Федерации благотворно влияет на перспективы развития страны и отвечает существенным потребностям транспортной системы. В настоящее время намечен рост объемов дорожного строительства согласно утвержденной «Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года» [1]. Однако с учетом некоторого снижения объемов финансирования необходимо уделять особое внимание качеству применяемых материалов, внедрению прогрессивных технологий и инновационных разработок. Одним из важнейших направлений при решении сформулированных в рамках стратегии задач является разработка, изучение и применение материалов для устройства конструктивных слоев дорожных одежд. Данное обстоятельство также актуально в связи с реализацией Национального проекта «Безопасные и качественные дороги» (утвержден президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол от 24.12.2018 г №15).

Среди материалов, применяемых в дорожном строительстве, отмечается значительная нехватка традиционного инертного минерального сырья (песок, щебень) в связи с отсутствием или истощением месторождений в отдельных регионах нашей страны. Эта ситуация приводит к высокому значению природных каменных материалов, используемых как для получения дорожно-строительных композитов, так и для устройства слоев основания, в общей стоимости объекта из-за сильной удаленности близлежащих карьеров от места производства работ. В связи с этим, в качестве альтернативы для устройства слоев оснований, отработываются технологии повышения работоспособности местных грунтов, которые позволяют получить, равноценную по всем параметрам традиционной конструкции.

Следует отметить, что достигнуть повышения работоспособности грунтов возможно двумя способами. Первый способ – это стабилизация несущей способности прочных от природы грунтов, которая представляет собой использование добавок, влияющих на поверхностные свойства частиц грунтов (например, гидрофобные поверхностно-активные вещества), в результате чего повышается их водоустойчивость. Второй – укрепление грунтов, представляющее собой комплекс мероприятий по созданию новых прочных и водо-

стойких связей между частицами и агрегатами, которые подразумевают применение различных видов вяжущих и добавок [2].

На территории Российской Федерации преимущественно залегают связные (или глинистые) грунты, что характерно и для Белгородской области. Отсутствие широкомасштабного применения их в дорожном строительстве связано со снижением физико-механических характеристик в результате влияния погодноклиматических факторов (увлажнения и замораживания-оттаивания) наряду с нагрузками от движущихся транспортных средств. Устойчивость глинистых грунтов под влиянием негативного воздействия внешних факторов напрямую зависит от качественного и количественного минералогического состава, который также имеет решающее значение при выборе способа повышения работоспособности грунта и, соответственно, при формировании его конечных характеристик свойств укрепленного грунта [3, 4]. В виду необходимости создания конструктивных слоев из глинистых грунтов, способных претерпевать не только циклические изменения присущие конкретной дорожно-климатической зоне, но и сопротивляться динамическим нагрузкам на протяжении длительного времени – укрепление является наиболее актуальным способом повышения работоспособности грунтов.

Из-за широкого распространения глинистых грунтов, вопросами их укрепления в нашей стране занимались многие научные школы. Значительные достижения, при работе с неорганическими вяжущими, получены В.М. Безруком и его последователями [5-8]. При этом установлено, что введение неорганических вяжущих компонентов в чистом виде в состав грунта имеет ряд недостатков: чрезмерное повышение показателей трещиностойкости и жесткости, а также снижение значений предельного относительного удлинения. Кроме того, низкая водостойкость грунта приводит к большому расходу вяжущего, что в свою очередь значительно увеличивает общую стоимость объекта строительства, а для отдельных грунтов (например, мелких песков) сложно обеспечить требуемые показатели морозостойкости [9].

В практике современного зарубежного и отечественного дорожного строительства для получения долговечного конечного материала с улучшенными показателями прочности и морозостойкости вместе со снижением расхода связующих широкое распространение получили химические добавки, которые, по сути, являются стабилизаторами и вводятся в процессе производства работ параллельно с вяжущим компонентом [10]. По вопросу применения таких добавок проведены исследования учеными разных стран и опубликовано большое количество работ, отражающих эффективность их введения при укреплении грунтов совместно с вяжущим [11-15]. В ряде работ по изучению стабилизирующих добавок была изучена специфика механизмов взаимодействия компонентов смеси [16-18]. Основной принцип действия стабилизаторов состоит в изменении водо-физических свойств грунта, приводящем к повышению плотности, несущей способности и морозостойкости, снижению водопоглощения, набухания и пучинистости. Таким образом, на основании исследований, проведенных ранее, установлено, что действие стабилизаторов позволяет модифицировать эксплуатационные свойства грунтов, видоизменив их структуру. Несмотря на достаточно большой объем данных по исследованию влияния различных добавок на свойства глинистых грунтов, все же следует отметить отсутствие единообразия данных в отношении конкретной добавки при переходе между видами связных грунтов. В этой связи целью представленной работы явилась сравнительная оценка влияния широкой линейки стабилизирующих добавок на свойства наиболее распространенного в Белгородской области вида глинистого грунта при комплексном укреплении с использованием цемента для установления их эффективности и целесообразности введения в соответствии с рекомендациями производителей.

Методы и материалы

Объектом исследования в настоящей работе выступил наиболее распространенный представитель глинистых грунтов Белгородской области – суглинок. Исследуемая разновидность грунта преимущественно залегает в верхнем слое земляного полотна, что позволяет предположить перспективность замены традиционных слоев конструкций дорожных одежд на слои из укрепленного грунта при незначительной замене земляных масс. Исследуемый грунт обладает следующими исходными параметрами (табл. 1) и в соответствии с ГОСТ 25100-2011 является – суглинком тяжелым пылеватым.

Таблица 1

Физико-механические характеристики суглинка

Table 1

Physical and Mechanical Characteristics of Loam

№ п/п	Наименование показателя	Требуемые значения	Фактические значения
1	Влажность на границе текучести, %	ГОСТ 5180–2015, не нормируется	34,9
2	Влажность на границе раскатывания, %	ГОСТ 5180–2015, не нормируется	20,6
3	Число пластичности	ГОСТ 25100–2011, $12 < I_p < 17$	14,3
4	Содержание пылевато-глинистых частиц, %	ГОСТ 25100–2011, >40%	75,7
5	Оптимальная влажность, %	ГОСТ 22733–2016, не нормируется	19,2
6	Максимальная плотность, г/см ³	ГОСТ 22733–2016, не нормируется	1,77

С целью установления степени влияния стабилизаторов на характеристики грунта в результате укрепления было изучено шесть торговых марок стабилизирующих добавок, дозировка которых в составе смеси регламентирована рекомендациями предприятий-изготовителей (табл. 2). Следует отметить, что использование всех представленных стабилизаторов предполагает введение в смесь связующего компонента в виде цемента, количество которого также регламентировано рекомендациями по применению добавок с целью укрепления грунта. В работе использовался портландцемент марки ЦЕМ I 42,5 Н производства ЗАО «Белгородский цемент» (ГОСТ 31108-2016).

Таблица 2

Составы смеси укрепленного грунта

Table 2

Compositions of the Reinforced Soil Mixture

№ п/п	Наименование стабилизирующей добавки	Количество добавки, % от массы грунта	Количество цемента, % от массы грунта
1	Дорзин	0,0017	6
2	Дорстаб	1	7
3	Nanostab	0,68	7
4	Никофлок	1	10
5	Дорцем	0,39	6,5
6	Акропол	0,13	7

В соответствии с требованиями ГОСТ 23558–94 для установления эффективности мероприятий по повышению работоспособности грунта были определены следующие необходимые характеристики конечного материала: максимальная плотность укрепленного грунта (методика ГОСТ 22733-2002), прочность на сжатие и на растяжение при изгибе (методики ГОСТ 10180-2012), а также морозостойкость (методика ГОСТ 10060-2012).

Результаты и обсуждения

На основании результатов испытаний шести составов укрепленного грунта в виде суглинка тяжелого пылеватого для удобства визуальной оценки сформированы диаграммы по четырем необходимым показателям (рис. 1-3). С целью определения эффективности комплексного укрепления в первую очередь была определена максимальная плотность уплотненного материала в присутствии цемента и используемых в работе добавок. Прежде, чем переходить к обсуждению результатов, важно отметить, что максимальной плотностью уплотненного материала, т.е. укрепленного грунта, является наибольшая плотность сухого грунта, которая достигается при его испытании методом стандартного уплотнения. Данный метод заключается в установлении зависимости плотности сухого грунта от его влажности при уплотнении образцов с постоянной работой уплотнения и последовательным увеличением влажности грунта. Кроме того, значение максимальной плотности есть, ни что иное как, отношение массы сухого материала к его объему вместе с

порами и технологическими пустотами. Следовательно, увеличение рассматриваемого параметра говорит о снижении пустотности, что, в свою очередь, положительно влияет на эксплуатационные характеристики полученного конструктивного слоя из укрепленного грунта.

Анализ полученных данных показывает, что введение в грунт цемента и стабилизирующих добавок позволяет существенно повысить максимальную плотность (на 16-27%) по сравнению со значением данного показателя для исходного грунта (рис. 1). Однако, значения максимальной плотности варьируется в зависимости от вводимого стабилизатора и количества цемента.

Рис. 1. Максимальная плотность уплотненного материала в зависимости от состава
Fig. 1. Maximum Density of Compacted Material Depending on Composition

Наименьший прирост максимальной плотности уплотненного укрепленного грунта по сравнению с исходным отмечается у образцов укрепленного грунта состава №2, который составил 16% при введении 7% цемента и 1% добавки. Несколько выше прирост максимальной плотности образцов состава №1 (около 19% по сравнению с исходным грунтом и на 9% по сравнению с составом №2), но при меньшем содержании цемента (6%) и добавки (0,0017%). Примерно одинаковые результаты рассматриваемого параметра показывают образцы укрепленного грунта составов №3, 5 и 6 (прирост максимальной плотности по сравнению с исходным грунтом в среднем на 21%). Количество вяжущего в этих случаях примерно одинаковое, но при этом заметно разнится количество добавки в составе укрепленного грунта (табл. 2). Значительно выделяется среди других состав укрепленного грунта №4 (прирост максимальной плотности – 27%), но здесь следует отметить и высокий расход цемента (10%) не смотря на совместное использование стабилизирующей добавки.

Таким образом, можно сделать вывод, что среди рассматриваемых составов комплексно-укрепленного грунта при использовании различных добавок, а также более или менее одинаковом содержании цемента ($\pm 1\%$, исключение – состав №4) состав №5 смотрится наиболее выигрышно (рис. 1, табл. 2). Так, при расходе цемента лишь 6,5% и относительно невысоком содержании стабилизирующей добавки (0,39%) максимальная плотность 2,15 г/см³. Что же касается состава №4, то в этом случае, несмотря на максимальный прирост максимальной плотности при высоком расходе цемента отмечается и относительно высокое содержание добавки. Использование такого варианта комплексного укрепления, вероятно, приведет к существенному удорожанию, а снижение количества вяжущего и, пропорционально, содержания добавки, скорее всего, не позволит добиться требуемого результата.

Учитывая тот факт, что прочностные характеристики укрепленного грунта напрямую зависят от его максимальной плотности, справедливо предположить о корреляции данных. Однако, анализ прочностных характеристик образцов укрепленного глинистого грунта показывает более заметные различия между составами (рис. 2). Значения прочностных характеристик образцов составов №1 и 2 коррелируют со значениями максимальной плотности укрепленного материала. Соответственно, состав №2 имеет самые низкие значения предела прочности на сжатие и растяжение при изгибе, которые максимально близки к значениям, регламентируемым ГОСТ 23558-94 (предел прочности на сжатие не менее 2,0 МПа, предел прочности на растяжение при изгибе 0,4 МПа). Следовательно, конструктивный слой дорожной одежды из грунта с использованием комплексного укрепления в присутствии добавки №2, несмотря на соответствие нормативным требованиям, будет обладать маленьким запасом прочности. Образцы состава №1, несмотря на небольшую разницу значений максимальной плотности с составом №2 (рис. 1), имеют более высокие значения прочности на сжатие и на растяжение при изгибе – 3,3 и 1,7 МПа соответственно, что на 50 и 43% выше.

Рис. 2. Прочностные характеристики укрепленного грунта с использованием стабилизаторов
Fig. 2. Strength Characteristics of Reinforced Soil Using Stabilizers

В случае с составами №3, 5 и 6 видно, что при практически одинаковой максимальной плотности (рис. 1) значения прочностных характеристик весьма разнятся. Запас прочности у образцов указанных составов по прочности на сжатие и растяжение при изгибе составляет 2,1 и 1,0, 1,9 и 0,9, а также 3,2 и 1 МПа соответственно. Таким образом, в присутствии примерно одинакового количества цемента ($\pm 0,5\%$), но при относительно невысокой концентрации добавки в составе укрепленного грунта №6, он отличается наиболее высоким запасом прочности (табл. 2, рис. 2).

Следует отметить, что образцы состава №4, несмотря высокую концентрацию цемента и стабилизирующей добавки, имеют запас прочности 3,3 и 1,3 МПа, отличаясь прочностью на сжатие от состава №6 лишь на 3%, а прочностью на растяжение при изгибе на 30%. Учитывая, что состав №6 при высоком запасе прочности является более экономически выгодным, возникают сомнения в целесообразности укрепления грунта с использованием добавки №4.

Наряду с прочностными характеристиками, большое значение имеет устойчивость укрепленного грунта к воздействию погодно-климатических факторов. Специфика сезонных изменений тепло-влажностного режима в процессе эксплуатации автомобильных дорог, который представляет собой цикличное изменение агрегатного состояния влаги (жидкость/лед), находящейся в поровом пространстве укрепленного грунта, ведет к постепенной деструкции конструктивного слоя и соответственно к потере прочности. Среднее количество циклов замораживания-оттаивания, характерное для каждой дорожно-климатической зоны, позволяет определить целесообразность применения укрепленных грунтов с различной фактической морозостойкостью в заданном регионе. Согласно СП 131.13330.2012 «Строительная климатология», количество циклов перехода через 0°C в Белгородской области по результатам многолетних наблюдений составляет 64. Следует отметить, что марка по морозостойкости характеризуется установленным числом циклов попеременного замораживания и оттаивания, при которых снижение прочности при сжатии произошло менее, чем на 25% от первоначальной прочности в проектом возрасте. Результаты испытаний образцов укрепленного грунта с учетом введения стабилизаторов различных типов представлены в табл. 3 и на рис. 3.

Таблица 3

Морозостойкость образцов укрепленного грунта

Table 3

Frost Resistance of Reinforced Soil Samples

Количество циклов	Номер состава					
	1	2	3	4	5	6
до испытания	3,3	2,2	4,1	5,3	3,9	5,2
5	<u>3,1</u>	<u>2,1</u>	<u>3,9</u>	<u>5,1</u>	<u>3,8</u>	<u>4,9</u>
	6,1	4,5	4,9	3,8	2,6	5,8
10	<u>3,0</u>	<u>2,0</u>	<u>3,7</u>	<u>4,7</u>	<u>3,6</u>	<u>4,7</u>
	9,1	9,1	9,8	11,3	7,7	9,6
15	<u>2,8</u>	<u>1,8</u>	<u>3,4</u>	<u>4,5</u>	<u>3,5</u>	<u>4,5</u>
	15,2	18,2	7,2	15,1	10,3	13,5
25	<u>2,6</u>	<u>1,7</u>	<u>3,2</u>	<u>4,3</u>	<u>3,2</u>	<u>4,2</u>
	21,2	22,7	21,9	18,9	17,9	19,2

Продолжение таблицы 3
Continuation of Table 3

50	$\frac{2,3}{30,3}$	$\frac{1,5}{31,8}$	$\frac{3,0}{26,8}$	$\frac{3,9}{26,4}$	$\frac{3,0}{23,1}$	$\frac{4,0}{23,1}$
75	-	-	-	-	$\frac{2,8}{28,1}$	$\frac{3,8}{26,9}$
Марка по морозостойкости	F25	F25	F25	F25	F50	F50

Примечание: Числитель – предел прочности при сжатии при температуре 20°С (МПа);

Знаменатель – процент потери прочности при сжатии при температуре 20°С после соответствующего количества циклов замораживания-оттаивания (%)

Рис. 3. Процент потери прочности на сжатие при температуре 20°С после соответствующего количества циклов замораживания и оттаивания

Fig. 3. Percentage of Compression Strength Loss at 20 °C after Appropriate Number of Freezing and Thawing Cycles

В общем виде многократные попеременные замораживания и оттаивания укрепленного грунта в водонасыщенном состоянии увеличивают число внутренних трещин, углубляют и расширяют их. Происходит увеличение объема за счет образующегося льда, возрастают внутрискруктурные напряжения, и, постепенно монолитная структура разуплотняется, что приводит к снижению прочностных характеристик конструктивного слоя из укрепленного грунта.

По полученным данным (табл. 3, рис. 3) можно сделать вывод, что образцы всех составов укрепленного грунта соответствуют нормативным требованиям (ГОСТ 23558-94), а именно марке по морозостойкости не ниже F25 и могут использоваться в Белгородской области. Однако, анализируя полученные данные, следует отметить, что в результате испытания на морозостойкость образцы составов №1 и 2 показали самый высокий процент потери прочности при сжатии после прохождения 50 циклов замораживания и оттаивания. Несмотря на низкий процент потери прочности образцов состава №3 после 15 циклов, резкий скачок потери прочности отмечается уже после 25 циклов, что примерно равно значениям по данному показателю для составов №1 и 2. После истечения 50 циклов, все же, состав №3 показывает меньшую потерю прочности по отношению к составам №1 и 2. Наиболее низкой потерей прочности в конечной точке испытания на морозостойкость, с учетом невысоких колебаний количества вяжущего, по сравнению с предыдущими тремя составами характеризуются составы №5 и 6. Также, как и в случае с прочностными характеристиками, обращает на себя внимание состав №4. При высоком содержании вяжущего и добавки относительно остальных составов он характеризуется большей потерей прочности по сравнению с составами №5 и 6, а также близок по значениям потери прочности к составу №3.

Кроме того, следует отметить, что образцы составов №4 и 6 в виду наиболее низкой потери прочности соответствуют марке по морозостойкости F 50. Этот факт позволяет рекомендовать их для устройства конструктивных слоев дорожной одежды в более суровых условиях.

Слои из укрепленного грунта рекомендуется применять преимущественно для устройства оснований дорожных одежд, в виду того, что до нижних слоев конструкций дорожных одежд доходят затухающие нагрузки, соответственно требования к ним более мягкие, чем к слоям покрытий. Однако, под действием нагрузок от движущихся транспортных средств происходят постоянные напряжения, сопровождающиеся сжатием и растяжением конструктивных слоев, что с течением времени, с учетом природно-климатических факторов, даже при соответствующем качестве провоцирует деформацию и дальнейшее разрушение.

В работе установлено, что, в соответствии с рекомендациями для стабилизирующих добавок, которые регламентируют как количество самой добавки, так и количество цемента, необходимого для эффективного укрепления грунта является достаточным, но не всегда оптимальным с точки зрения качества и экономической выгоды конечного материала. Следует также отметить тот факт, что в виду единообразия механизмов взаимодействия различных стабилизаторов с компонентами смеси производители добавок не учитывают такие факторы как, например, генезис, химико-минеральные особенности грунта и его гранулометрический состав. Различия в составе грунтов в рамках одного вида может внести существенные изменения в процесс структурообразования при консолидации частиц и агрегатов грунта в результате взаимодействия всех компонентов смеси. Дополнительное изучение таких параметров и их влияния на формирование матрицы укрепленного грунта позволило бы с максимальной точностью установить оптимальные составы, а также достичь наиболее высоких эксплуатационных характеристик конструктивных слоев из укрепленного грунта.

Таким образом, укрепление глинистых грунтов с помощью стабилизаторов различного состава является актуальным направлением в области дорожного строительства, позволяющим оптимизировать затраты при устройстве слоев основания, улучшить качественные характеристики, а также выступить в качестве альтернативной технологии, позволяющей снизить использование традиционных инертных минеральных материалов в конструкциях дорожных одежд.

Выводы

1. Показатели физико-механических характеристик укрепленного глинистого грунта в виде суглинка тяжелого пылеватого с учетом введения стабилизатора в присутствии цемента во всех случаях отвечают требованиям нормативной документации (ГОСТ 23558-94). Однако, значения для всех характеристик у состава № 2 максимально близки к предельно допустимым, что может привести к преждевременному сбою работы слоя основания. Целесообразность применения состава №4 вызывает некоторые сомнения в силу высокой затратности и соизмеримыми значениями физико-механических характеристик по сравнению с остальными.

2. При сравнении эффективности применяемых добавок по комплексу нормируемых физико-механических характеристик укрепленного грунта с учетом соотношения компонентов в его составе наиболее эффективными являются составы №3, 5 и 6.

3. Использование способа комплексного укрепления суглинка тяжелого пылеватого при введении в смесь каждого из рассматриваемых стабилизаторов позволяет добиться хороших результатов при испытании укрепленного грунта на растяжение при изгибе (за исключением образца №2). Это свидетельствует об улучшении трещиностойкости.

4. Изучив влияние различных стабилизаторов, используемых при комплексном укреплении глинистого грунта в виде суглинка тяжелого пылеватого с использованием цемента, можно сделать вывод о том, что рекомендаций по составу смеси грунта для достижения хороших эксплуатационных характеристик недостаточно. В результате выявлена необходимость изучения влияния отдельных характеристик укрепленных грунтов на характер процессов структурообразования с целью установления оптимального соотношения компонентов смеси и получения конечного материала с высокими эксплуатационными характеристиками.

Благодарность

Источник финансирования. Грант Президента для научных школ НШ-2584.2020.8.

Литература

1. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года. Утверж. распоряжением Правительства РФ от 22 ноября 2008 г. №1734-р в ред. распоряжения Правительства РФ от 11 июня 2014 г. N1032-р. 70 с.
2. Фурсов С.Г. Стабилизаторы грунтов // Автомобильные дороги. 2015. №6 (1003). [Электронный ресурс: <http://www.avtodorogi-magazine.ru/item/672-stabilizatory-gruntov.html>]
3. Уланов П.Е., Гимазов А.Р., Замалиев И.Р., Вдовин Е.А. и др. Влияние содержания портландцемента на свойства укрепленных грунтов различного минерального состава // Вестник казанского технологического университета. 2017. Т. 20. №9. С. 24 – 27.
4. Bell F.G. Lime stabilization of clay minerals and soils // Engineering Geology. 1996. №42. P. 223 – 237.
5. Безрук В.М. Укрепленные грунты. М.: Транспорт, 1982. 31 с.
6. Бирюля А.К. Новые конструкции оснований для дорожных покрытий // Строительство дорог. 1989. №6. С. 45 – 48.

7. Rimal S., Poudel R.K., Gautam D. Experimental study on properties of natural soils treated with cement kiln dust // *Case Studies in Construction Materials*. Vol. 10. June 2019. e00223.
8. Кочеткова Р.Г. Современные методы улучшения свойств глинистых грунтов вяжущими и добавками: монография. Москва: Изд-во МАДИ, 2014. 132 с.
9. 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.
10. Загородных К.С., Кукина О.Б. Анализ проблемы укрепления глинистых грунтов // *Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Студент и наука*. 2016. №9. С. 55 – 63.
11. Абрамова Т.Т., Босов А.И., Валиева К.Э. Использование стабилизатора для улучшения свойств связных грунтов // *Геотехника*. 2012. №3. С. 4 – 28.
12. Сравнительный анализ эффективности применения стабилизирующих составов и полимерных добавок в конструкциях дорожных одежд автомобильных дорог / под ред. А.Т. Максимова. СПб.: ООО «Никель». 2006. 24 с.
13. Струков А.А., Кочестков А.В., Андронов С.Ю. Применение ферментного стабилизатора «Дорзин» в дорожном строительстве // *Строительные материалы*. 2014. №1. С. 80 – 83.
14. Solanki P. Zaman M. Microstructural and mineralogical characterization of clay stabilized using calcium-based stabilizers // *Scanning electron microscopy*. 2012. №38. P. 771 – 798.
15. Kushwaha S.S., Kishan D., Dindorkar N. Stabilization of Expansive Soil Using Eko Soil Enzyme For Highway Embankment // *Materials today: proceedings*. January 2018. Vol. 5. Is. 9. P. 19667 – 19679.
16. Newman K., Tingle J.S. Emulsion polymers for soil stabilization // *Proceedings of the FAA worldwide airport technology transfer conference*. Atlantic City, USA. 2004.
17. Du Ch., Yang G., Zhang T., Yang Q. Miltiscale study of the influence of promoters on low-plasticity clay stabilized with cement-based composites // *Construction and Building Materials*. Vol. 213. 20 July 2019. P. 537 – 548.
18. Фоменко Е.А., Ольгинский А.Г. Определяющая роль процессов контактообразования в формировании свойств укрепленных грунтов // *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. 2006. №34 – 35; С. 43 – 45.

References

1. Transportnaya strategiya Rossijskoj Federacii na period do 2030 goda. Utverzh. rasporyazheniem Pravitel'stva RF ot 22 noyabrya 2008 g. №1734-r v red. rasporyazheniya Pravitel'stva RF ot 11 iyunya 2014 g. 1032-r. 70 p. (rus.)
2. Fursov S.G. Stabilizatory gruntov. Avtomobil'nye dorogi. 2015. 6 (1003). [Elektronnyj resurs: <http://www.avtodorogi-magazine.ru/item/672-stabilizatory-gruntov.html>] (rus.)
3. Ulanov P.E., Gimazov A.R., Zamaliev I.R., Vdovin E.A. i dr. Vliyanie sodержaniya portlandcementsa na svoystva ukreplennyh gruntov razlichnogo mineral'nogo sostava. Vestnik kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2017. 20 (9). P. 24 – 27. (rus.)
4. Bell F.G. Lime stabilization of clay minerals and soils. *Engineering Geology*. 1996. 42. P. 223 – 237.
5. Bezruk V.M. Ukreplennye grunty. M.: Transport, 1982. 31 p. (rus.)
6. Birulya A.K. Novye konstrukcii osnovanij dlya dorozhnyh pokrytij. Stroitel'stvo dorog. 1989. 6. P. 45 – 48. (rus.)
7. Rimal S., Poudel R.K., Gautam D. Experimental study on properties of natural soils treated with cement kiln dust. *Case Studies in Construction Materials*. 10. June 2019. e00223.
8. Kochetkova R.G. Sovremennye metody uluchsheniya svoystv glinistykh gruntov vyazhushchimi i dobavkami: monografiya. Moskva: Izd-vo MADI, 2014. 132 p. (rus.)
9. Podol'skij Vl.P., Matvienko F.V., Strokin A.S., Borisov A.E. Issledovanie vliyaniya modifikatora «Dorcem DS-1» na svoystva cementsa i fiziko-mekhanicheskie harakteristiki cementogrunta. Nauchnyj zhurnal stroitel'stva i arhitektury. 2017. 1 (45). P. 84 – 92. (rus.)
10. Zagorodnyh K.S., Kukina O.B. Analiz problemy ukrepleniya glinistykh gruntov. Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Student i nauka. 2016. 9. P. 55 – 63. (rus.)
11. Abramova T.T., Bosov A.I., Valieva K.E. Ispol'zovanie stabilizatora dlya uluchsheniya svoystv svyaznykh gruntov. *Geotekhnika*. 2012. 3. P. 4 – 28. (rus.)

12. Sravnitel'nyj analiz effektivnosti primeneniya stabiliziruyushchih sostavov i polimernyh dobavok v konstrukciyah dorozhnyh odezhd avtomobil'nyh dorog. Pod red. A.T. Maksimova. SPb.: OOO «Nikel'». 2006. 24 p. (rus.)
13. Strukov A.A., Kochestkov A.V., Andronov S.YU. Primenenie fermentnogo stabilizatora «Dorzin» v dorozhnom stroitel'stve. Stroitel'nye materialy. 2014. 1. P. 80 – 83. (rus.)
14. Solanki P., Zaman M. Microstructural and mineralogical characterization of clay stabilized using calcium-based stabilizers. Scanning electron microscopy. 2012. 38. P. 771 – 798.
15. Kushwaha S.S., Kishan D., Dindorkar N. Stabilization of Expansive Soil Using Eko Soil Enzyme For Highway Embankment. Materials today: proceedings. January 2018. 5 (9). P. 19667 – 19679.
16. Newman K., Tingle J.S. Emulsion polymers for soil stabilization. Proceedings of the FAA worldwide airport technology transfer conference. Atlantic City, USA. 2004.
17. Du Ch., Yang G., Zhang T., Yang Q. Multiscale study of the influence of promoters on low-plasticity clay stabilized with cement-based composites. Construction and Building Materials. 213. 20 July 2019. P. 537 – 548.
18. Fomenko E.A., Ol'ginskij A.G. Opredelyayushchaya rol' processov kontaktoobrazovaniya v formirovanii svoystv ukreplennykh gruntov. Vestnik Har'kovskogo nacional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta. 2006. 34 – 35. P. 43 – 45. (rus.)

*Dmitrieva T.V., Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.),
Markova I.Yu., Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.),
Strokova V.V. *, Doctor of Engineering Sciences (Advanced Doctor), Professor,
Bezrodnykh A.A., Postgraduate,
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Russia,
Kutsyna N.P., Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.),
Regional State Public Institution «Management of Road Facilities
and Transport of the Belgorod region», Russia*
*Corresponding author E-mail: vvstrokova@gmail.com

EFFICIENCY OF STABILIZERS OF VARIOUS COMPOSITION FOR STRENGTHENING THE SOIL WITH A MINERAL BINDER

Abstract: the depletion of natural deposits of traditional inert mineral raw materials (sand, gravel) used to create effective layers of the foundations of roads leads to the development and application of new technologies and alternative materials. One way to solve this problem is to use local raw materials. For the construction of the lower layer of the road basement local soils are often used. However, their use is associated with the development of a set of measures to increase their efficiency, such as stabilization (by the use of chemical additives) and/or strengthening (by the introduction of various types of binders). In this regard, the paper analyzes the physicommechanical characteristics of reinforced clay soils obtained by introduction of various types of stabilizing additives in the presence of an inorganic mineral binder of hydration hardening type - cement - taking into account the recommendations for the used additives. The object of research was the most common representative of clay soils of the Belgorod region – heavy dusty clay loam. As a result of the studies, the authors established the reasonability of the use of the additives in the presence of cement, the most effective compositions of the reinforced soil were identified, contributing to the improvement of its controlled physical and mechanical characteristics. In addition, the need for additional studies to adjust the recommended composition of reinforced soil was established.

Keywords: road construction, soil reinforcement, stabilizing additive, cement, density, strength, frost resistance

Для цитирования: Дмитриева Т.В., Маркова И.Ю., Строкова В.В., Безродных А.А., Куцына Н.П. Эффективность стабилизаторов различного состава при укреплении грунтов минеральным вяжущим // Строительные материалы и изделия. 2020. Том 3. №1. С. 30 – 38. DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-1-30-38

For citation: Dmitrieva T.V., Markova I.Yu., Strokova V.V., Bezrodnykh A.A., Kutsyna N.P. Efficiency of stabilizers of various compositions for strengthening soils with mineral binders. Construction Materials and Products. 2020. 3 (1). P. 30 – 38. DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-1-30-38

Поступила в редакцию 3 ноября 2019 г.

Принята в доработанном виде 15 декабря 2019 г.

Одобрена для публикации 12 января 2020 г.

Received: November 3, 2019.

Revised: December 15, 2019.

Accepted: January 12, 2020.