DOI: 10.34031/article_5d14bdcc8eca43.21244159

[1,*]Дмитриева Т.В., [2]Куцына Н.П., [1]Безродных А.А, [1]Строкова В.В, [1]Маркова И.Ю.
[1]Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46
[2]ОГКУ «Управление дорожного хозяйства и транспорта Белгородской области»
Россия, 308000, Белгород, ул. Преображенская, д. 19
*E-mail: tdmitrieva-bel@yandex.ru

ЭФФЕКТИВНОСТЬ УКРЕПЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННОГО ГРУНТА МИНЕРАЛЬНЫМИ МОДИФИКАТОРАМИ

Аннотация. *В статье рассмотрены основные аспекты укрепления грунтов в дорожном строительстве путем добавления к ним вяжущего компонента. Применение данной технологии позволяет решить проблему дефицита качественного сырья при улучшении физико-механических характеристик или сохранении на том же уровне, а также увеличить производительность труда и снизить затраты на производство. Изучено техногенное сырье для получения грунтобетонов, проанализированы основные физико-механические характеристики, требования, которые необходимо учитывать при подборе состава грунтобетонной смеси. В работе приведено сравнение физико-механических характеристик дорожного композита, выявлены преимущества и недостатки при введении вяжущего компонента различных типов: цемент, цемент с модификатором и комплексное вяжущее. Установлено, что введение комплексного вяжущего либо цемента с модификатором способствует повышению физико-механических характеристик при снижении расхода цемента в составе грунтобетонной смеси по сравнению с традиционным грунтобетоном с применением цемента.*

Ключевые слова: *дорожное строительство, укрепление грунтов, техногенный грунт, цемент, модификатор, комплексное вяжущее.*

Введение. Вопрос обеспечения бесперебойного и безопасного движения транспортных средств по автомобильным дорогам Российской Федерации в связи с массовой автомобилизацией населения является актуальным, несмотря на постоянную модернизацию как дорожно-строительной отрасли, так и транспортной сети. Данный вопрос особо значим в связи с необходимостью создания единой дорожной сети с круглогодичным доступом для населения [1].

С 2019 года стартовал национальный проект «Безопасные и качественные дороги» на глобальном общероссийском уровне (утвержден президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол от 24.12.2018 г №15). Основными задачами являются приведение автомобильных дорог как федерального, так областного и местного значения в соответствие с нормативными требованиями, а также снижение мест концентрации дорожно-транспортных происшествий на дорожной сети регионов страны. На основании повышенного внимания к дорожной отрасли на правительственном уровне были уточнены межремонтные сроки в сторону их значительного увеличения [2]. Данное обстоятельство способствует более пристальному вниманию к применяемым технологиям и материалам с учетом максимального использования инновационных разработок.

Решить все выше представленные задачи позволит комплексный подход, предполагающий применение инновационных технологий с целью улучшения качественных характеристик дорожных одежд, а также снижения сроков проведения дорожно-строительных работ. Снижение материалоемкости без потери несущей способности дорожной одежды с учетом сохранения физико-механических показателей будет способствовать повышению качественных характеристик конструктивных элементов дорожной одежды и эксплуатационных характеристик всей автомобильной дороги.

Учеными различных научных школ уже более 100 лет происходит изучение основных аспектов укрепления грунтов. Так в ряде работ было доказано, что укрепление грунтов как природного [3, 4], так и техногенного [5–8] происхождения при устройстве слоев основания автомобильных дорог позволит минимизировать расходы или полностью исключить дорогостоящий каменный материал, расширив сырьевую базу дорожно-строительных материалов. Разработкой и введением дополнительных улучшающих добавок в грунтобетон активно занимаются ученые последнее десятилетие. Их использование активно распространено в ряде стран, таких как Канада, Германия, США и ряда других [9–11].

Работы, касающиеся грунтобетонов на техногенном сырье, были посвящены в основном грунтам, образованным в отвалах промышленных ресурсодобывающих предприятий. Однако в последнее десятилетие во многих регионах Рос-

сийской Федерации активное применение получил метод холодной регенерации [12, 13]. Получаемый материал основания согласно последним разъяснениям [14] можно назвать грунтобетоном (смесь грунта, вяжущего, добавок и воды [15]) или укрепленным грунтом, а основной сырьевой компонент – техногенным грунтом (грунт, измененный, перемещенный или образованный в результате инженерно-хозяйственной деятельности человека согласно ГОСТ 25100-2011).

Вышеуказанный материал, согласно теоретических предпосылок и экспериментальных данных, следует рассматривать как наиболее перспективный для дорожного строительства. Подобрав наиболее рациональный компонент для укрепления, возможно значительно повысить физико-механические показатели конструктивных слоев дорожной одежд, снизив затраты и экологический прессинг в регионе за счет применения вторсырья.

В состав техногенного грунта входят материалы различного состава, в том числе битумосодержащие материалы с различной степенью старения битума. Размер зерен минерального материала варьируется от 40 мм и до 0,071 мм. При детальном изучении состава материала следует выделить зерна различного генеза, растворные гранулы, щебень, покрытый полностью или частично растворной частью, а также гранулы из асфальтовяжущего вещества [16].

Следует отметить, что, несмотря на то, что зерна минеральных частиц покрыты битумом, который под воздействием уплотняющей нагрузки должен склеить эти зерна, сам по себе этот материал является несвязной системой, содержащей крупные зерна, исполняющие роль каркаса, и мелкие частицы. Некоторое количество состаренного под действием внешних факторов и внутренних процессов битума в составе смеси делает саму смесь более хрупкой.

Таким образом, следует сделать вывод о необходимости введения вяжущего компонента для использования данного материала в качестве конструктивного элемента дорожной одежды для повышения параметров прочности техногенного грунта. В связи со спецификой сырья следует акцентировать внимание на влиянии влажности и коэффициента уплотнения на получение материала с требуемым модулем упругости и коэффициентом сцепления [17–18]. Процесс структурообразования в укрепленной смеси заключается в формировании пространственных органоминеральных структур из минерального наполнителя и вяжущего компонента.

Материалы и методы. В качестве техногенного грунта использовали сфрезерованный асфальтогранулят. Изучение гранулометрического состава (рис. 1) показало разнофракционный состав материала, четвертую часть от объема занимают частицы размером от 5 до 10 мм, также высокое содержание мелких фракций, остатки на ситах 1,25, 0,63, 0,315, 0,16 и 0,071 мм составляют около 10 % от объема грунта на каждом сите. Данные показатели гранулометрического состава полностью соответствуют ОДМ 218.2.022-2012 прил. Б.

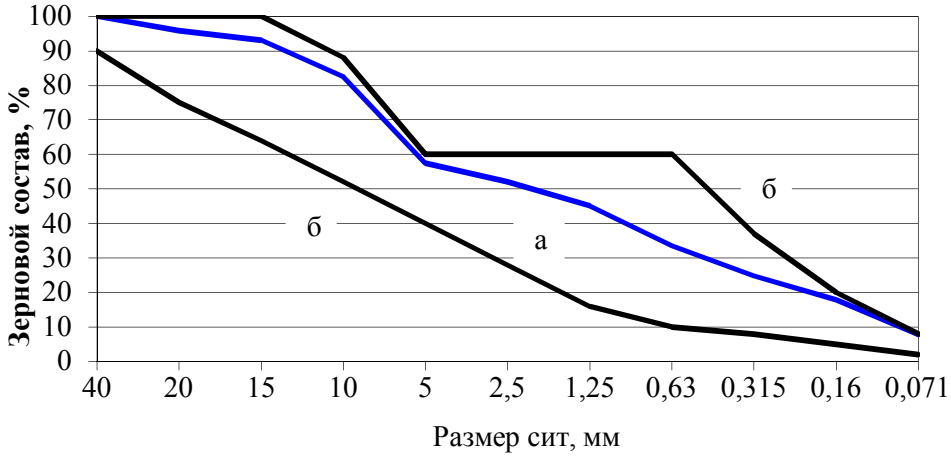

Рис. 1. Гранулометрический состав техногенного грунта
а) полные проходы, %, б) границы требований ОДМ 218.2.022-2012

Содержание битума в исследуемом грунте, определенное методом выжигания, составляет 5,5 % (сверх 100 % смеси).

Максимальная плотность и оптимальная влажность техногенного грунта, определенные по методике ГОСТ 22733-2002, составляют 2200 кг/м^3 и 6 % соответственно.

В качестве вяжущего компонента в работе были выбраны цемент, цемент с добавкой-модификатором ДорЦем ДС-1 [19] и комплексное вяжущее БелДорЦем [20]. Цемент для укрепления

использовали марки ЦЕМ I 42,5 Н в соответствии с ГОСТ 31108-2016, произведенный на Белгородском цементном заводе. Состав и технологию получения модификатора (выпущенного согласно ТУ 2499-001-30130102-2010) и комплексного минерального вяжущего (выпущенного согласно ТУ 23.64.10-001-28538178-2019) (произведенные ООО «Белдорматериалы») производитель не разглашает.

В ходе лабораторных исследований проводилось испытание грунтобетона 3-х видов:

– техногенный грунт, укрепленный цементом (ЦЕМ I 42,5Н) с его содержанием – 2–6 % (сверх 100 % от массы грунта) с шагом 1,0 %;

– техногенный грунт, укрепленный цементом с модификатором ДорЦем ДС-1. Содержание вяжущего – 1,5–3,5 % (сверх 100 % от массы грунта) с шагом 0,5 %; модификатора – 6 % от массы цемента;

– техногенный грунт, укрепленный комплексным вяжущим БелДорЦем с содержанием 1,5–3,5 % (сверх 100 % от массы грунта) с шагом 0,5 %.

Основная часть. При уплотнении грунта необходимо, чтобы пористость уплотненного материала соответствовала объему поровой воды, а вода находилась в адсорбированном состоянии. При этом грунт должен находиться при оптимальной влажности, при которой будут приложены наименьшие затраты энергии на уплотнение.

Опытным путем было установлено, что при выполнении работ по укреплению техногенного грунта необходимо дополнительное введение вяжущего компонента (цемента) для получения требуемых прочностных характеристик укрепленного грунта. Это связано с тем, что в процессе изготовления лабораторных образцов бездобавочный материал уплотняется, однако при достижении определенного для испытаний возраста, образцы разрушаются и определить качественные характеристики такого материала не представляется возможным.

При введении в грунт цемента происходит смещение показателя оптимальной влажности грунта. Показатели твердения вяжущего (начало, конец) зависят от минерального и химического составов, а также показателей дисперсности. Так при добавлении цемента в грунт с большим количеством частиц меньшего размера, твердение смеси начнется раньше, чем в крупнодисперсных грунтах [21].

В работе исследовалось влияние различного содержания вяжущего на свойства укрепленного техногенного грунта (табл. 1). На основании полученных результатов следует говорить об увеличении средней плотности и прочности при сжатии образцов при увеличении процентного соотношения цемента.

Таблица 1

Зависимость физико-механических свойств грунтобетона (грунт+цемент) от содержания цемента

№ п/п	Цемент, %	Наименование показателя		
		средняя плотность, кг/м^3	предел прочности при сжатии, МПа	марка по морозостойкости
1.	2,0	2220	1,5	F15
2.	3,0	2230	1,8	F15
3.	4,0	2240	2,2	F20
4.	5,0	2270	2,8	F25
5.	6,0	2300	3,7	F25

В климатических условиях Белгородской области одним из важнейших свойств является морозостойкость укрепленного основания. Чаще всего в осенне-зимне-весенний период основание подвергается попеременному замораживанию-оттаиванию, при этом важнейшую роль играет структурное состояние материала основания. При увлажнении вода попадает в поры, способствуя отслоению битума и ослаблению структурных связей. При замерзании происходит дальнейшее разрушение структуры и снижение морозостойкости.

С введением в состав техногенного грунта цемента создается особая структура с замкнутыми воздушными порами, которая способствует увеличению морозостойкости получаемого грунтобетона. Результаты произведенных исследований показали, что введение цемента в количестве от 2 до 5 % (сверх 100 % техногенного грунта) увеличивает морозостойкость композита. При введении большего количества цемента наблюдается только рост прочностных показателей.

На рис. 2 представлена положительная динамика изменения предела прочности при сжатии образцов в проектном возрасте в зависимости от содержания цемента. Так как образцы без добавления укрепляющих добавок не выдерживали хранения до проведения испытаний, прирост прочности рассчитывался относительно минимального количества добавляемого цемента – 2 %.

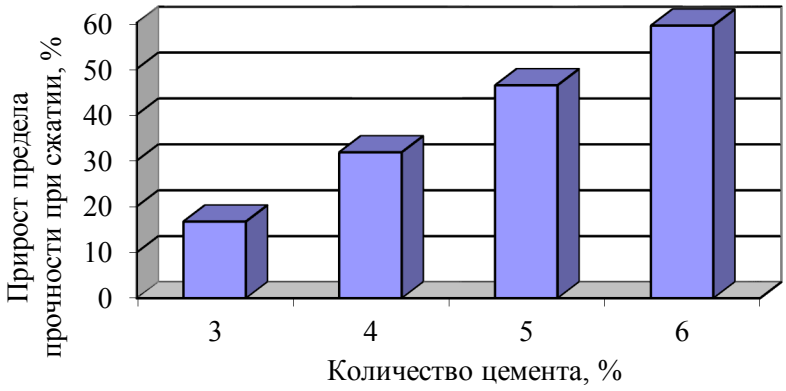

Рис. 2. Динамика изменения предела прочности при сжатии образцов в проектном возрасте в зависимости от содержания цемента в составе грунтобетона

Полученные данные свидетельствуют о планомерном и пропорциональном росте показателей прочности при увеличении содержания вяжущего – цемента в составе смеси. Введение цемента позволяет грунтобетону на основе техногенного грунта достичь марки по прочности М20 (уже при введении 4 % цемента в смесь), что является достаточным для устройства укрепленного материала в качестве основания автомобильной дороги на переходных типах покрытия по ГОСТ 23558–94.

В результате лабораторных испытаний установлено, что образцы техногенного грунта, укрепленные цементом, обладают высокими показателями прочности и плотности в зависимости от содержания цемента. Однако широкомасштабное применение цемента в качестве вяжущего без введения дополнительных добавок ограничивается его высоким расходом и низкими показателями водо- и морозостойкости.

Согласно рекомендациям завода-производителя введение добавки-модификатора ДорЦем ДС-1 производится в количестве 6 % от массы цемента, что приводит к снижению вводимого вяжущего при сохранении требуемых физико-механических показателей. Данные утверждения были проверены в лабораторных условиях, образцы укрепленного грунта изготавливались и испытывались в соответствии с требованиями ГОСТ 23558-94 (табл. 2).

Таблица 2

Зависимость физико-механических свойств грунтобетона (грунт+цемент+модификатор) от количества цемента

№ п/п	Цемент, %	Наименование показателя		
		средняя плотность, кг/м^3	предел прочности при сжатии, МПа	марка по морозостойкости
1.	1,5	2220	1,7	F20
2.	2	2230	1,9	F20
3.	2,5	2240	2,4	F25
4.	3	2250	2,7	F25
5.	3,5	2260	3,0	F25

Полученные результаты свидетельствуют об увеличении средней плотности, прочности при сжатии и марки по морозостойкости образцов при увеличении процентного соотношения цемента. Результаты испытаний укрепленного материала соответствуют требованиям ГОСТ 23558-94 к марке М20 (уже при введении 2,5 % цемента в смесь параллельно с введением модификатора), что является достаточным для устройства укрепленного материала в качестве основания автомобильной дороги на переходных типах покрытия по ГОСТ 23558–94.

Таким образом, тенденция роста анализируемых показателей для данного состава схожа с тенденцией, прослеживаемой в «чисто» цементных составах (табл. 1), однако следует отметить возможность снижения содержания цемента в смеси при равнопрочных показателях укрепленного материала (рис. 2). Сравнение показателей прочности образцов грунтобетона (табл. 1 и 2) доказывает увеличение прочностных характеристик у образцов с применением модификатора более чем на 20,0 % по сравнению с образцами, укрепленных цементом по традиционной технологии при равном содержании вяжущего компонента. Также следует отметить наибольший прирост прочности при введении 2,5 % цемента по сравнению с относительно минимальным коли-

чеством добавляемого цемента – 1,5 %. При последующем введении цемента с шагом 0,5 % темпы роста прочности несколько замедляются.

Введение модификатора в смесь также увеличило морозостойкость полученного материала. Однако, с увеличением количества цемента и модификатора прироста показателя морозостойкости не произошло. Возможно, причина этого явления состоит в том, что достигается минимальная пористость смеси, влияющая на морозостойкость композита за счет тонкодисперсных материалов (цемента и модификатора).

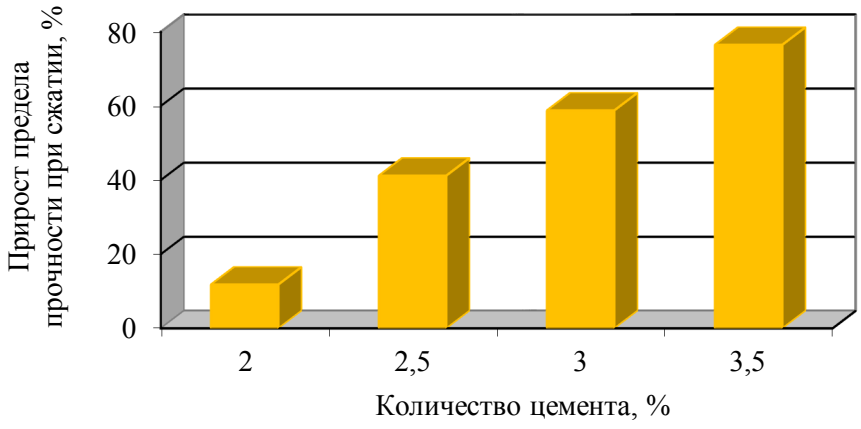

Рис. 3. Динамика изменения предела прочности при сжатии образцов в проектном возрасте в зависимости от содержания цемента в составе грунтобетона с учетом введения модификатора

Установлено, что образцы техногенного грунта, укрепленные цементом совместно с модификатором Дорцем ДС-1, обладают высокими показателями прочности и плотности, плотность образцов по сравнению с «чисто» цементными составами выше при аналогичном содержании вяжущего компонента. Это обеспечит необходимую прочность конструктивного слоя основания, что будет способствовать улучшению несущей способности конструкции дорожной одежды в целом. Однако применение данной технологии укрепления имеет определенные недостатки, свойственные порошкообразным добавкам к цементу. Большинство дорожно-строительных организаций не располагает парком оборудования с синхронным распределением цемента и добавок, поэтому происходит поэтапное распределение, сначала цемента, потом добавка. Потери вяжущего от колес спецтехники и ветреная погода способствуют возникновению больших потерь при распределении. Все это стало причиной для разработок комплексного вяжущего, изготовленного совместно с добавками в заводских условиях. Данное направление активно развивается за рубежом [22], однако и в Российской Федерации был создан материал, отвечающий данным требованиям – комплексное вяжущее «БелДорЦем» [20].

Анализ результатов по оценке физико-механических свойств грунтобетонов, полученных при укреплении техногенного грунта комплексным вяжущим (табл. 3) показал, что замена цемента на «БелДорЦем» приводит к планомерному и пропорциональному росту прочности при увеличении содержания комплексного вяжущего в составе смеси. Введение комплексного вяжущего позволяет грунтобетону на основе техногенного грунта достичь марки по прочности М20 уже при введении 2 % вяжущего, что является достаточным для устройства укрепленного материала в качестве основания автомобильной дороги на переходных типах покрытия по ГОСТ 23558–94. Однако в качестве оптимального следует выделить состав №3 (2,5 % вяжущего).

Результаты испытаний образцов, укрепленных комплексным вяжущим (табл. 3) по прочности и морозостойкости схожи с результатами испытаний образцов, укрепленных цементом совместно с модификатором ДорЦем ДС-1 (табл. 2).

Сравнение показателей прочности образцов грунтобетонов различных составов (табл. 1–3) доказывает увеличение прочностных характеристик и показателей плотности у образцов с применением модификатора и комплексного вяжущего по сравнению с образцами, укрепленных цементом по традиционной технологии при равном содержании вяжущего компонента, также следует отметить схожие показатели при следующем содержании вяжущих (цемент+ДорЦем = БелДорЦем). Видимо, это связано с тем, что модификатор «ДорЦем-ДС-1» является добавкой «активирующей» свойства цемента, а в составе комплексного вяжущего «БелДорЦем» все компоненты уже рационально дозированы. Однако с точки зрения технологичности дорожно-строительных работ по укреплению техногенного грунта предпочтительным является применение комплексного вяжущего.

Таблица 3

Зависимость средней плотности и прочности при сжатии от количества вяжущего в составе грунтобетона (грунт+комплексное вяжущее)

№ п/п	Комплексное вяжущее, %	Наименование показателя		
		средняя плотность, кг/м^3	предел прочности при сжатии, МПа	марка по морозостойкости
1.	1,5	2230	1,8	F20
2.	2	2240	2,0	F20
3.	2,5	2250	2,5	F25
4.	3	2260	2,9	F25
5.	3,5	2270	3,2	F25

Согласно полученным данным, следует сделать вывод о перспективности данной технологии согласно следующим аспектам:

1. Общедоступность применения технологии;

2. Физико-механические характеристики соответствуют требованиям ГОСТ 23588-94;

3. Прочностные характеристики выше при снижении расхода цемента.

Учитывая тот факт, что техногенный грунт содержит продукты повторного использования асфальтобетона, для рациональных составов была проведена проверка характеристик полученных материалов на соответствие ОДМ 218.2.022-2012.

Анализ полученных результатов рациональных составов грунтобетонов (табл. 4) показывает полное соответствие данных всем требуемым характеристикам материала согласно ОДМ 218.2.022-2012.

Таблица 4

Физико-механические показатели грунтобетона различных составов

№ п/п	Наименование показателя	Требования ОДМ 218.2.022-2012 к I-II/III-IV категориям а/д	Состав № 3	
			(по табл. 2)	(по табл. 3)
1	Предел прочности при сжатии, МПа, при температуре 20 °С в возрасте 7 суток	Не менее 2,0/2,0	4,2	3,6
2	Предел прочности при сжатии, МПа, при температуре 50 °С в возрасте 7 суток	Не менее 0,8/0,7	1,6	1,5
3	Коэффициент водостойкости	Не менее 0,7/0,6	0,95	1,00
4	Водонасыщение, % по объему	Не более 10/12	4,0	4,3

Таким образом, применение грунтобетонов позволит улучшить эксплуатационные показатели дорожной одежды, увеличить ее несущую способность, что особо актуально в связи с возросшими показателями интенсивности дорожного движения, а также снизить экологический прессинг в регионе путем вторичного применения техногенных материалов.

Выводы

1. Показано, что укрепление техногенного грунта цементом совместно с модификатором ДорЦем ДС-1 либо замена цемента на комплексное вяжущее БелДорЦем позволяет повысить прочность, водо- и морозостойкость грунтобетона на 30, 20 и 60 % соответственно, при снижении расхода цемента.

2. Установлено, что физико-механические показатели грунтобетона, с учетом использования в качестве укрепляемого грунта сфрезерованного асфальтогранулята, в составе которого содержится до 5,5 % битума, соответствуют требованиям ОДМ 218.2.022-2012 к I-IV категориям автомобильных дорог.

Источник финансирования. *Грант Президента для научных школ НШ-2724.2018.8.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дорожное хозяйство России. Цифры и факты: справ.: М.: Минтранс России. Фед. дор. агентство. 2010. С. 18–26.

2. О нормативах финансовых затрат и Правилах расчета размера бюджетных ассигнований федерального бюджета на капитальный ремонт, ремонт и содержание автомобильных дорог федерального значения: постановление Правительства от 30 мая 2017 г. № 658 // Собрание законодательства РФ. М., 2017. № 23. Ст. 354.

3. Solanki P., Zaman M. Microstructural and mineralogical characterization of clay stabilized using calcium-based stabilizers // Scanning electron microscopy. 2012. № 38. Pp. 771–798.

4. Егоров Г.В., Андреева А.В., Буренина О.Н. Укрепление местных грунтов стабилизатором при строительстве автомобильных дорог в условиях Севера // Дороги и мосты. 2013. № 1(29). С. 21–28.

5. Строкова В.В., Карацупа С.В., Лютенко А.О. Грунтобетоны на основе техногенного сырья КМА для строительства автомобильных дорог : монография. Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2006. 172 с.

6. Панков П.П. и др. Применение комплексного метода стабилизации грунта для получения дорожных грунтобетонов // Сб. статей Международной научной конференции «Технические и естественные науки». Санкт-Петербург, 27-31 октября 2018 г. Санкт-Петербург: Изд-во ГНИИ «Нацразвитие», 2018. С. 192–193.

7. Balaguera A., Carvajal G.I., Arias Y.P., Alberti J., Fullana-i-Palmer P. Technical feasibility and life cycle assessment of an industrial waste as stabilizing product for unpaved roads, and influence of packaging // Science of The Total environment. Vol. 651, P. 1. Pp. 1272–1282.

8. Дмитриева Т.В., Строкова В.В., Безродных А.А. Влияние генетических особенностей грунтов на свойства грунтобетонов на их основе // Строительные материалы и изделия. 2018. Том 1. №1. С. 69–77.

9. Kushwaha S.S., Kishan D., Dindorkar N. Stabilization of Expansive Soil Using Eko Soil Enzyme For Highway Embankment // Materialstoday: proceedings. Vol. 5, Iss. 9. Pp. 19667–19679.

10. ChenY., LiangW., LiY., WuY., ChenY., XiaoW., ZhaoLi,ZhangJ., HueLi. Modification, application and reaction mechanisms of nano-sized iron sulfide particles for pollutant removal from soil and water: A review // Chemical Engineering Journal. Vol. 362. 15 April 2019. Pp. 144–159. 15 April 2019. Pp. 144–159.

11. Rimal S., Poudel R.K., Gautam D. Experimental study on properties of natural soils treated with cement kiln dust // Case Studuies in Construction Materials. Vol. 10. June 2019. e00223.

12. Свириденко М.В., Федорова В.С. Способы регенерации дорожных одежд // Материалы 57-й студенческой научно-технической конференции инженерно-строительного института ТОГУ (17-27 апреля 2017 г.). Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет, 2017. С. 256–260.

13. Прокопец В.С., Филатов С.Ф., Иванова Т.Л., Тарасова М.В., Поморова Л.В. Восстановление асфальтобетонных покрытий методом холодного ресайклинга и добавками химических веществ // Башкирский химический журнал. 2006. Том 13. №5. С. 61–65.

14. Дмитриева Т.В., Безродных А.А., Куцына Н.П. К вопросу о терминологии при разработке грунтобетонных оснований автомобильных дорог // Сб. научных трудов Международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова «Наукоемкие технологии и инновации» (XXIII научные чтения). Белгород: Изд-во БГТУ, 2019. (в печати)

15. Строкова В.В., Щеглов А.Ф. Грунтобетоны на основе глинистых пород КМА для дорожного строительства. Изд-во БГТУ им В.Г. Шухова, 2003. 152 с.

16. Курдюков Р.П., Курдюков Д.П., Мануковский А.Ю. Регенерация асфальтобетонного покрытия // Сборник научных трудов по итогам международной научно-технической интернет-конференции «Леса России в XXI веке» (26 ноября 2015 г.). Санкт-Петербург, 2015. С. 130–135.

17. Семенова Т.В., Долгих Г.В., Полугородник Б.Н. Применение Калифорнийского числа несущей способности и динамического конусного пенетрометра для оценки качества уплотнения грунтов // Вестник СибАДИ, 2014. №1. С. 59–66.

18. Александрова Н.П., Троценко Н.А. Применение измерителя жесткости грунта Geogauge для оценки качества уплотнения при операционном контроле // Вестник СибАДИ. 2014. №3. С. 40–47.

19. ТУ 2499-001-30130102-2010. Модификатор «ДорЦем ДС-1». Технические условия. Введ. в дейст. 27.07.2010. Введ. впервые. М. 2010. 11 с.

20. ТУ 23.64.10-001-28538178-2019. Комплексное вяжущее «БелДорЦем». Технические условия. Введ. в дейст. 04.02.2019. Введ. впервые. Белгород. 2019. 10 с.

21. Кочеткова Р.Г. Современные методы улучшения свойств глинистых грунтов вяжущими и добавками: монография. Москва: Изд-во МАДИ, 2014. 132 с.

22. 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. Pp. 537–548.

Информация об авторах

Дмитриева Татьяна Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения и технологии материалов. E-mail: tdmitrieva-bel@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Куцына Наталья Петровна, кандидат технических наук, начальник отдела лабораторного контроля. E-mail: nat-kuts@yandex.ru. ОГКУ «Управление дорожного хозяйства и транспорта Белгородской области». Россия, 308000, Белгород, ул. Преображенская, д. 19.

Безродных Андрей Александрович, аспирант кафедры материаловедения и технологии материалов. E-mail: tdmitrieva-bel@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Строкова Валерия Валерьевна, доктор технических наук, профессор кафедры материаловедения и технологии материалов. E-mail: vvstrokova@gmail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Маркова Ирина Юрьевна, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры материаловедения и технологии материалов. E-mail: irishka-31.90@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в мае 2019 г.
© Дмитриева Т.В., Куцына Н.П., Безродных А.А, Строкова В.В, Маркова И.Ю., 2019

[1,]*Dmitrieva T.V., [2]Kutsyna N.P., [1]Bezrodnykh A.A, [1]Strokova V.V., [1]Markova I.Yu.
[1]Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
Russia, 308012, Belgorod, Kostukova st., 46
[2]Regional state governmental institution «Management of road facilities and transport of the Belgorod region»
Russia, 308000, Belgorod, Preobrazhenskaja st.t, 19
**E-mail: tdmitrieva-bel@yandex.ru*

EFFICIENCY OF REINFORCEMENT OF TECHNOLOGICAL SOIL BY MINERAL MODIFIERS

Abstract. *The paper discusses the main aspects of soil reinforcement in road construction by adding a binder component to them. The use of this technology allows to solve the problem of high-quality raw materials shortage while improving the physicomechanical characteristics or keeping them at the same level, as well as to increase labor productivity and reduce production costs. The technogenic raw materials for the production of soil concrete were studied, the main physicomechanical characteristics and requirements that must be taken into account when selecting the composition of the soil concrete mixture were analyzed. The paper compares the physicomechanical characteristics of the road composite, reveals the advantages and disadvantages of introducing binder components of various types: cement, cement with modifier and a complex binder. It has been established that the introduction of a complex binder or cement with modifier contributes to the improvement of the physicomechanical characteristics while reducing the consumption of cement in the composition of the soil-concrete mixture compared to traditional soil-concrete with cement.*

Keywords: *road construction, soil reinforcement, technogenic soil, cement, modifier, complex binder.*

REFERENCES

1. Road economy of Russia. Figures and facts: Ref [*Dorozhnoe hozyajstvo Rossii. Cifry i fakty: spravochnik*]. Moscow: Ministry of Transport of Russia. Federal road agency. 2010. Pp. 18–26. (rus)

2. On the standards of financial expenses and the Rules for calculating the size of budget allocations of the federal budget for the capital repair, repair and maintenance of highways of federal significance: Government Decree № 658 dated May 30, 2017 [*O normativah finansovyh zatrat i Pravilah rascheta razmera byudzhetnyh assignovanij federal'nogo byudzheta na kapital'nyj remont, remont i soderzhanie avtomobil'nyh dorog federal'nogo znacheniya: postanovlenie Pravitel'stva ot 30 maya 2017 g. № 658*]. Collection of the legislation of the Russian Federation. M.: 2017. No. 23. Article 354. (rus)

3. Solanki P. Zaman M. Microstructural and mineralogical characterization of clay stabilized using calcium-based stabilizers. Scanning electron microscopy. 2012. No. 38. Pp. 771–798.

4. Egorov G.V., Andreeva A.V., Burenina O.N. Reinforcement of local soils with a stabilizer during the construction of roads in the North [*Ukreplenie mestnyh gruntov stabilizatorom pri stroitel'stve avtomobil'nyh dorog v usloviyah Severa*]. Roads and bridges. 2013. No. 1 (29). Pp. 21–28. (rus)

5. Strokova V.V., Karatsupa S.V., Lyutenko A.O. Concrete based on technogenic raw materials of KMA for the construction of roads: a monograph [*Gruntobetony na osnove tekhnogennogo syr'ya KMA dlya stroitel'stva avtomobil'nyh dorog : monografiya*]. Belgorod: Publishing House of BSTU named after V.G. Shukhov, 2006. 172 p. (rus)

6. Pankov P.P. et al. Application of the complex method of soil stabilization for the production of road soil concretes [*Primenenie kompleksnogo metoda stabilizacii grunta dlya polucheniya dorozhnyh*

gruntobetonov]. Collected papers of the International Scientific Conference "Technical and Natural Sciences". St. Petersburg, October 27-31, 2018. St. Petersburg: Publishing House of the National Academical Research Institute "National Development", 2018. Pp. 192–193. (rus)

7. Balaguera A., Carvajal G.I., Arias Y.P., Alberti J., Fullana-i-Palmer P. Technical feasibility and life cycle assessment of an industrial waste as stabilizing product for unpaved roads, and influence of packaging. Science of the Total environment. Vol. 651, P. 1. Pp. 1272–1282.

8. Dmitrieva T.V., Strokova V.V., Bezrodnykh A.A. Influence of the genetic features of soils on the properties of soil-concretes on their basis [*Vliyanie geneticheskih osobennostej gruntov na svojstva gruntobetonov na ih osnove*]. Construction Materials and Products. 2018. Vol. 1. Iss. 1. Pp. 69–77.

9. Kushwaha S.S., Kishan D., Dindorkar N. Stabilization of Expansive Soil Using Eko Soil Enzyme For Highway Embankment. Materials today: proceedings. Vol. 5. Is. 9. Pp. 19667–19679.

10.Chen Y., Liang W., Li Y., Wu Y., Chen Y., Xiao W., Zhao Li, Zhang J., Hue Li. Modification, application and reaction mechanisms of nano-sized iron sulfide particles for pollutant removal from soil and water: A review. Chemical Engineering Journal. Vol. 362. 15 April 2019. Pp. 144–159.

11.Rimal S., Poudel R.K., Gautam D. Experimental study on properties of natural soils treated with cement kiln dust. Case Studuies in Construction Materials. Vol. 10. June 2019. e00223.

12. Sviridenko M.V., Fedorova V.S. Ways of pavement regeneration [*Sposoby regeneracii dorozhnyh odezhd*]. Proceedings of the 57th Student Scientific and Technical Conference of the Engineering and Construction Institute of Pacific National University (April 17-27, 2017). Khabarovsk: Pacific National University, 2017. Pp. 256–260. (rus)

13. Prokopets V.S., Filatov S.F., Ivanova T.L., Tarasova M.V., Pomorova L.V. Restoration of asphalt concrete pavements by cold recycling and chemical additives [*Vosstanovlenie asfal'tobetonnyh pokrytij metodom holodnogo resajklinga i dobavkami himicheskih veshchestv*]. Bashkir Chemical Journal. 2006. Vol. 13. No. 5. Pp. 61–65. (rus)

14. Dmitrieva T.V., Bezrodnykh A.A., Kutsyna N.P. To the question of terminology in the development of soil-concrete basements of highways [*K voprosu o terminologii pri razrabotke gruntobetonnyh osnovanij avtomobil'nyh dorog*]. Proceedings of scientific papers of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 65th anniversary of BSTU named after V.G. Shukhov "High Technologies and Innovations" (XXIII scientific readings). Belgorod: publishing house of BSTU named after V.G. Shukhov, 2019. (in print). (rus)

15. Strokova V.V., Shcheglov A.F. Soil-concretes on the basis of clay rocks of KMA for road construction: Monograph [*Gruntobetony na osnove glinistyh porod KMA dlya dorozhnogo stroitel'stva: Monografiya*]. Belgorod: Publishing House of the BSTU named after VG Shukhov, 2003, 152 p. (rus)

16. Kurdyukov R.P., Kurdyukov D.P., Manukovsky A.Yu. Regeneration of asphalt concrete pavement [*Regeneraciya asfal'tobetonnogo pokrytiya*]. Collection of scientific papers on the basis of the international scientific and technical Internet conference "Forests of Russia in the XXI century" (November 26, 2015). St. Petersburg, 2015. Pp. 130–135. (rus)

17. Semenova T.V., Dolgikh G.V., Polugorodnik B.N. The use of the California bearing ratio and dynamic cone penetrometer for assessing the quality of compaction of soils [*Primenenie Kalifornijskogo chisla nesushchej sposobnosti i dinamicheskogo konusnogo penetrometra dlya ocenki kachestva uplotneniya gruntov*]. Russian Automobile and Highway Industry Journal. 2014. No. 1. Pp. 59–66. (rus)

18. Alexandrova N.P., Trotsenko N.A. The use of the Geogauge soil stiffness tester for evaluating the quality of compaction during operational control [*Primenenie izmeritelya zhestkosti grunta Geogauge dlya ocenki kachestva uplotneniya pri operacionnom kontrole*]. Russian Automobile and Highway Industry Journal. 2014. No. 3. Pp. 40–47. (rus)

19. TC 2499-001-30130102-2010. Modifier "DorTsem DS-1." Technical conditions [*Modifikator «DorCem DS-1». Tekhnicheskie usloviya*]. Entered into action 27.07.2010. Entered firstly. M. 2010. 11 p. (rus)

20. TC 23.64.10-001-28538178-2019. Complex binder "Beldortsem". Technical conditions [*Kompleksnoe vyazhushchee «BelDorCem». Tekhnicheskie usloviya*]. Entered into action 04.02.2019. Entered firstly Belgorod. 2019. 10 p. (rus)

21. Kochetkova R.G. Modern methods of improving the properties of clay soils with binders and additives: monograph [*Sovremennye metody uluchsheniya svojstv glinistyh gruntov vyazhushchimi i dobavkami: monografiya*]. M.: Publishing House of MADI, 2014. 132 p. (rus)

22. 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. Pp. 537–548.

Information about the authors
Dmitrieva, Tatiana V. PhD. E-mail: tdmitrieva-bel@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Kutsyna, Natalia P. PhD. E-mail: nat-kuts@yandex.ru. RSSI "Management of road facilities and transport Belgorod region». Russia, 308000, Belgorod, st. Preobragenskaya, 19.

Bezrodnykh, Andrey A. Postgraduate student. E-mail: tdmitrieva-bel@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Strokova, Valeria V. DSc, Professor E-mail: vvstrokova@gmail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Markova, Irina Y. PhD. E-mail: irishka-31.90@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in May 2019

Для цитирования:
Дмитриева Т.В., Куцына Н.П., Безродных А.А, Строкова В.В, Маркова И.Ю. Эффективность укрепления техногенного грунта минеральными модификаторами // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 7. С. 14–23. DOI: 10.34031/article_5d14bdcc8eca43.21244159

For citation:
Dmitrieva T.V., Kutsyna N.P., Bezrodnykh A.A, Strokova V.V., Markova I.Yu. Efficiency of reinforcement of technological soilby mineral modifiers. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 7. Pp. 14–23. DOI: 10.34031/article_5d14bdcc8eca43.21244159