

^{1,*}Дмитриева Т.В., ²Куцына Н.П., ¹Безродных А.А., ¹Строкова В.В., ¹Маркова И.Ю.

¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

²ОГКУ «Управление дорожного хозяйства и транспорта Белгородской области»

*E-mail: tdmtrieva-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.

ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ
ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ
ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ
ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ
ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ

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.

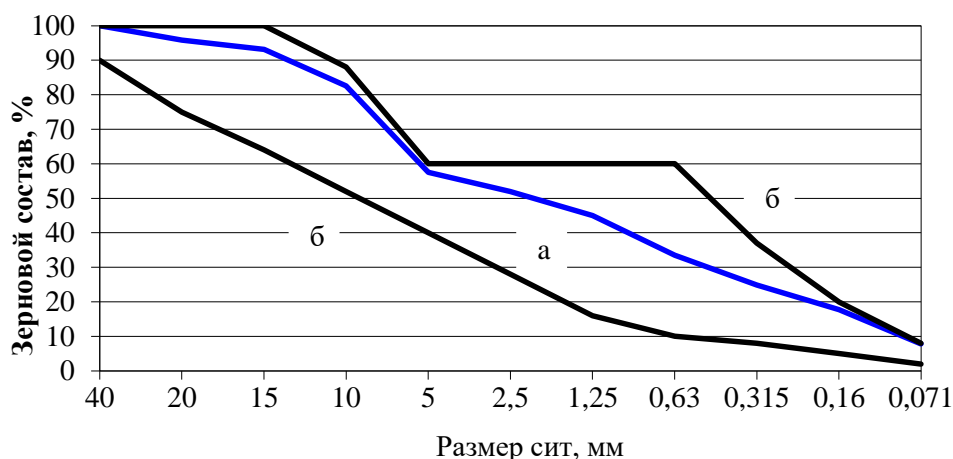


Рис. 1. Гранулометрический состав техногенного грунта
 а) полные проходы, %, б) границы требований ОДМ 218.2.022-2012

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/м³ и 6 % соответственно.

ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ
 ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ
 ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ
 ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ

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

ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ
 ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ
 ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ
 ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ ТЕКСТ

Выводы.

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. Multiscale 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: tdmtrieva-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: tdmtrieva-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.

^{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*

²*Regional state governmental institution «Management of road facilities and transport of the Belgorod region»*

**E-mail: tdmtrieva-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 assignovaniy federal'nogo byudzheta na kapital'nyj remont, remont i sodержание 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 [Gruntobeton 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 stabilizatsii 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 geneticheskikh 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 Studies in Construction Materials. Vol. 10. June 2019. e00223.
12. Sviridenko M.V., Fedorova V.S. Ways of pavement regeneration [Sposoby regeneratsii 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 himicheskikh 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 [Gruntobeton na osnove glinistykh porod KMA dlya dorozhnogo stroitel'stva: Monografiya]. Belgorod: Publishing House of the BSTU named after V.G. Shukhov, 2003, 152 p. (rus)
16. Kurdyukov R.P., Kurdyukov D.P., Manukovsky A.Yu. Regeneration of asphalt concrete pavement [Regeneratsiya asfal'tobetonnoy 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 izmeratelya zhestkosti grunta Geogauge dlya ocenki kachestva uplotneniya pri operatsionnom 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 glinistykh 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. RSI "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.

Обязательная форма для заполнения

Тип статьи	Научная
Отрасль науки, к которой относится статья	Технические науки
Группа специальностей, к которой относится статья	2.1. Строительство и архитектура
Специальность, к которой относится статья	2.1.5. Строительные материалы и изделия

При необходимости авторы могут указать две специальности, к которым относится статья.