

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI:10.12737/article_5af5a72640c9f7.36216170

Гриджин А.М., д-р техн. наук, проф.,
Золотых С.Н., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПМК NISOFLOK КАК МЕХАНОХИМИЧЕСКОГО АКТИВАТОРА НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТА, ПРИМЕНЯЕМОГО ПРИ УКРЕПЛЕНИИ ГРУНТОВ

zolotyh.sn@bstu.ru

В настоящее время возрастающие нагрузки, интенсивность и скорость движения транспорта диктуют необходимость повышения надёжности всех конструктивных элементов транспортной инфраструктуры. Остро стоит проблема повышения надёжности работы земляного полотна. Большую популярность в решении этих вопросов занимает практика укрепления грунтов с использованием вяжущих веществ и добавок различного действия. Одной из таких широко применяемых добавок является полимерно-минеральная композиция Nisoflok. В статье рассмотрена возможность направленного изменения свойств цемента за счет эффекта механохимии при совместном помоле клинкера и добавки. Было установлено, что стабилизатор положительно влияет на размываемость цементного клинкера и способствует получению более тонкого вяжущего. Также значительное влияние эффекта механохимии проявляется на свойствах цемента, таких как водопотребность, начало схватывания и прочностные показатели. Введение полимерно-минеральной композиции в цемент простым перемешиванием способствует увеличению прочности, а композиционное вяжущее, приготовленное совместным помолом портландцементного клинкера с Nisoflok, превосходит состав с ручным смешением по пределу прочности при сжатии на 35 % и при изгибе на 18 %. Это можно объяснить равномерным распределением мелких частиц добавки и образовавшихся обломков крупных гранул по объему порошка, что способствует лучшей растворимости стабилизатора и большему его влиянию на свойства цементной системы. Полученный композиционный цемент относится к более высокому классу цемента, применяемого при укреплении грунтов, что может дать возможность снизить расход добавки для достижения нормативных показателей или уменьшить содержание композиционного вяжущего при комплексном укреплении грунта. Это в конечном итоге положительно скажется на качестве материала для устройства земляного полотна и может оптимизировать технологию строительства дорог.

Ключевые слова: механохимическая активация, ПМК Nisoflok, укрепление грунтов, композиционный цемент.

Возрастающие нагрузки, скорость и интенсивность движения транспорта на железных и автомобильных дорогах требуют повышения надёжности всех конструктивных элементов сооружений транспортной инфраструктуры. Одной из наиболее актуальных проблем при эксплуатации дорог являются отказы земляного полотна в процессе эксплуатации. По этой причине, зачастую, требуется снижение нагрузок, а, иногда, и закрытие проезда до устранения дефектов, что особенно затратно именно для этого конструктивного элемента дорог.

Вопросам повышения надёжности работы земляного полотна посвящены многочисленные работы российских и зарубежных учёных [1–5]. Учитывая, что тело насыпи земляного полотна возводится из грунта, который является наиболее крупнотоннажным материалом в технологии

строительства дорог, особенно актуальны исследования, направленные на возможность использования местных грунтов, что позволяет значительно снизить стоимость строительства железных и автомобильных дорог [6–8].

С учетом многообразия видов местных грунтов достижение нормируемых эксплуатационных показателей для различных функциональных слоев земляного полотна невозможно без кардинального изменения их свойств, что достигается комплексным укреплением грунтов с применением вяжущих и соответствующих стабилизаторов [9, 10].

Основное внимание исследователей сосредоточено на химической совместимости грунтов и стабилизаторов, используемых при их укреплении. По этому принципу для различных видов комплексно укрепляемых грунтов предлагается

большое количество импортных и значительно меньше отечественных стабилизаторов, которые в зависимости от содержания в составе поверхностно-активных веществ ионогенного или неионогенного типов обладают свойствами гидрофобизаторов или пластификаторов, что позволяет избирательно изменять химические и водно-физические свойства укрепляемых грунтов.

При этом недостаточно внимания уделяется вопросам возможности направленного изменения свойств укрепленных грунтов за счет интенсификации процессов, вызванных как дезинтеграцией, так и механохимической активацией. Их влияние не учитывают при производстве на стадии объединения всех компонентов при перемешивании смеси, где одновременно наряду с диспергированием возможны и химические процессы, происходящие на границе раздела фаз, ко-

торые в зависимости от характеристик смеси-тельного оборудования (за счет физических процессов измельчения или истирания) делают активными ранее «инертные» компоненты смеси.

В настоящей статье в качестве стабилизатора применяемого для комплексного укрепления грунтов принята полимерно-минеральная композиция (ПМК) Nicoflok российского производства (представляющая собой гранулированный порошок), и рассмотрена возможность направленного изменения свойств цемента за счет эффекта механохимии при совместном помолу клинкера и ПМК.

Для исследования были использованы клинкер Белгородского цементного завода, природный гипс и ПМК Nicoflok. Химический состав сырьевых материалов был определен на рентгенофлуоресцентном спектрометре серии ARL 9900 WorkStation (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав сырьевых материалов

Наименование материала	Содержание, %							Прочие
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	F	SO ₃	
Портландцементный клинкер	66,93	20,81	5,73	3,56	1,05	-		1,92
Гипс	38,65	3,95	1,15	-	7,58	-	42,32	6,35
Минеральная часть ПМК Nicoflok	43,08	44,78	1,29	1,12	1,45	4,74	-	3,54

Универсальность принятой для исследования добавки заключается в том, что она применима для различных типов грунтов, пригодных к укреплению цементом, так как входящие в ее состав компоненты предполагают воздействие на цемент и воду затворения [11].

На начальном этапе исследования было приготовлено 2 вида цементов:

1. Контрольный цемент, полученный совместным помолом 95 % портландцементного клинкера и 5 % гипса;

2. Композиционный цемент, полученный в результате совместного помола 95 % портландцементного клинкера, 5 % гипса и 10 % ПМК Nicoflok (сверх 100 % клинкера и гипса). Содержание композиции было выбрано исходя из принятой дозировки добавки в цемент при укреплении грунтов [12].

Приготовление цементов было осуществлено в лабораторных условиях кафедры ТКЦМ БГТУ им. В.Г. Шухова. Режим мелющей загрузки на размалываемый материал и время помола подбирались согласно разработанной ими методики [13] (измельчение проводили в стандартной лабораторной мельнице Гипроцемента (Ø 0,5×0,56 м)). В результате были выбраны следующие параметры:

- загружаемая масса материала 4 кг;
- первая загрузка (грубое измельчение): шары диаметром 70 мм и 50 мм в равном количестве в соотношении 1:1, общий вес загрузки 55 кг, время помола 5 минут;
- вторая загрузка (окончательное тонкое измельчение): смесь цильпесов диаметром 25 мм и шаров диаметром 25 мм в соотношении 1:1 по массе, время помола 50 минут.

Учитывая, что тонкость помола значительно влияет на конечные свойства цемента, дисперсность полученных цементов оценивалась по нескольким характеристикам: удельная поверхность по Блейну, измеренная на приборе ПСХ-12; распределение частиц по размерам и рассчитанная из него удельная поверхность, определенные на лазерном анализаторе размеров частиц ANALYSETTE 22 NanoTecplus [14] (рис. 1, табл. 2).

Согласно полученным результатам, цемент с введенной композицией превосходит контрольный по значениям удельной поверхности (табл. 2). Из этого можно заключить, что стабилизатор ПМК положительно влияет на размалываемость цементного клинкера и способствует получению более тонкого вяжущего, о чем можно судить по

кривым распределения частиц по размерам – график композиционного цемента располагается левее контрольного состава, т.е. в области более мелких частиц (рис. 1).

На втором этапе исследования для выявления эффекта механохимии были определены технические и технологические характеристики (табл. 2) и исследована микроструктура (рис. 2) следующих составов вяжущих:

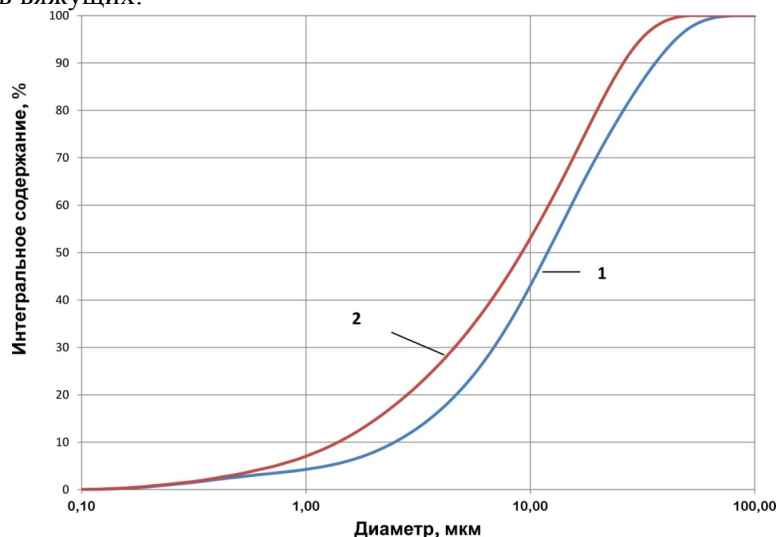


Рис. 1. Интегральные кривые распределения частиц по размерам контрольного цемента (1) и композиционного цемента (2)

Таблица 2

Технические и технологические характеристики исследуемых составов

Наименование состава	Удельная поверхность, см ² /г		НГ, %	Начало схватывания, мин	Предел прочности цемента (28 суток), МПа		Класс цемента
	по Блейну	по лазерной дифракции			при сжатии	при изгибе	
Ц1	3731	4877	28	130	29,74	5,1	22,5Н
Ц2	—*	—*	27	125	33,55	5,5	32,5Н
Ц3	4999	6701	26	120	45,55	6,5	42,5Н

*удельная поверхность определялась только для вяжущих, приготовленных в лабораторной мельнице

Анализируя данные табл. 2, можно увидеть значительное влияние эффекта механохимии на свойства цемента, т.к. по сравнению с Ц2, композиционное вяжущее, приготовленное совместным помолом портландцементного клинкера с ПМК (Ц3) показывает увеличение предела прочности при сжатии на 35 %, а предела прочности при изгибе на 18 %.

При сопоставлении характеристик с нормируемыми показателями ГОСТ Р 55224-2012 «Цементы для транспортного строительства» полученный композиционный цемент относится к более высокому классу цемента, применяемого при укреплении грунтов (нормативные требования – 22,5Н; 32,5Н), что может дать возможность снизить расход добавки для достижения нормативных показателей или уменьшить содержание композиционного вяжущего при комплексном укреплении грунта.

1. Ц1– Контрольный цемент (без ПМК Nisoflok);
2. Ц2– Контрольный цемент с добавлением 10 % ПМК Nisoflok и перемешиванием вручную до равномерного её распределения;
3. Ц3– Композиционный цемент (ПМК Nisoflok использован как механохимический активатор).

Несмотря на то, что получаемое вяжущее Ц3 является более тонким, содержание воды для получения теста нормальной густоты, снижается, что оказывает положительное влияние и дает прирост прочности. Постепенное снижение водопотребности (Ц2, Ц3) при введении ПМК можно объяснить положительным действием добавки, которое в значительной степени проявляет себя при механохимических процессах.

Влияние механохимии на вяжущее можно четко проследить при исследовании микроструктурных особенностей порошков. При стандартном перемешивании добавки с цементом (рис. 2, в) видны цельные гранулы и кристаллы различного размера, входящие в состав ПМК (рис. 2, а), а при совместном помолу происходит их дробление с равномерным распределением образовавшихся обломков по объему порошка (рис. 2, г). Визуально разница между Ц1 (рис. 2, б) и Ц3

(рис. 2, г) незначительна, поскольку темные достаточно крупные гранулы (до 300 мкм) и игольчатые кристаллы, входящие в состав полимерно-минеральной композиции, диспергируются совместно с зернами клинкера и гипса, в результате

чего все компоненты композиционного вяжущего имеют близкие размеры частиц. За счет уменьшения размеров компонентов добавки можно объяснить их лучшую растворимость и большее влияние на свойства цементной системы.

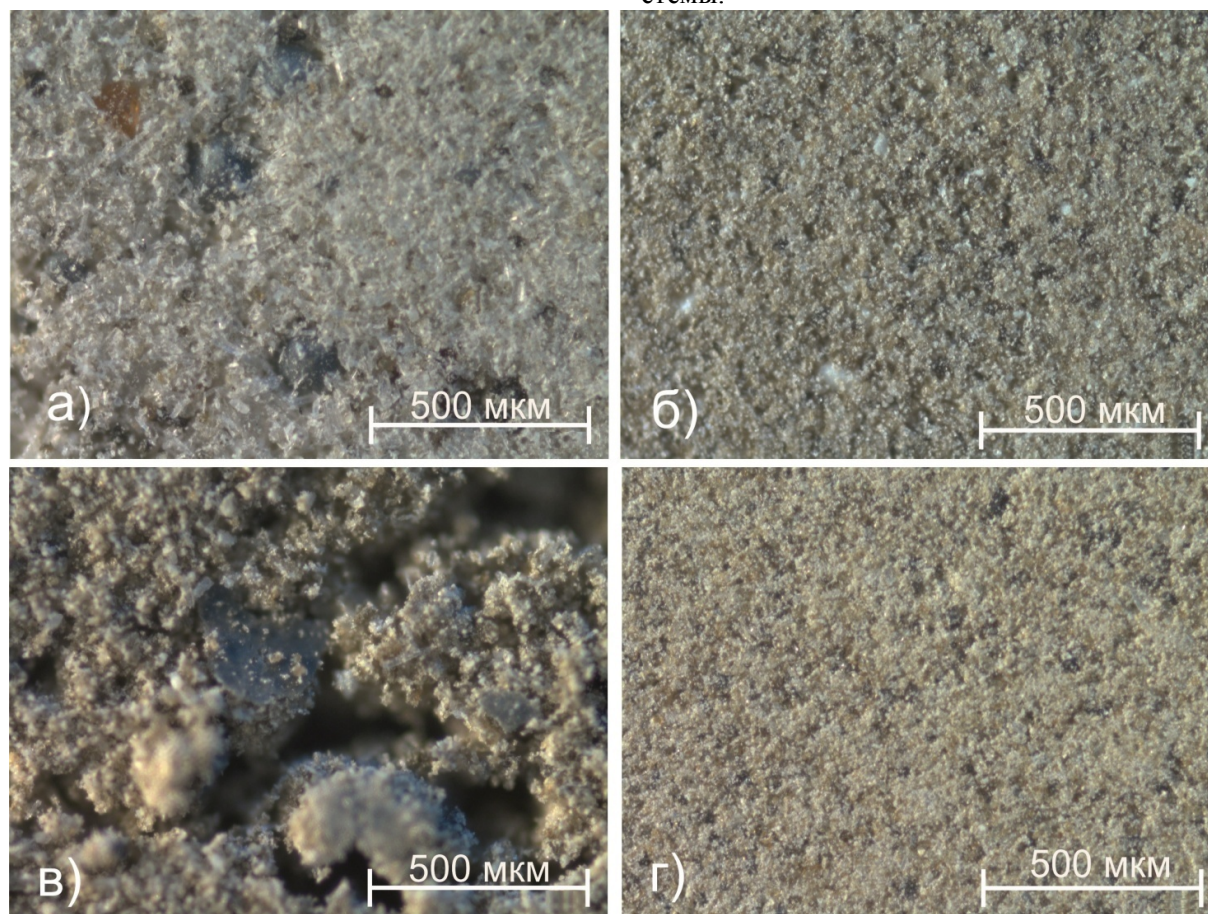


Рис. 2. Микроструктурные особенности принятых для исследования порошкообразных материалов (увеличение 50×) а – ПМК Nicoflok, б – Ц1, в – Ц2, г – Ц3

Таким образом, при исследовании было выявлено:

1. Особенности состава и свойств ПМК Nicoflok указывает на возможность регулирования технических и технологических свойств композиционного цемента в зависимости от технологии введения стабилизатора.

2. Процессы механохимии оказывают существенное влияние на свойства цемента при его совместном измельчении с ПМК Nicoflok, которое заключается в повышении дисперсности материала, класса цемента и снижении водопотребности.

3. При введении ПМК Nicoflok в качестве активатора цемента, предположительно можно снизить стандартный расход добавки.

4. Применение композиционного вяжущего при строительстве дорог исключит необходимость дозирования, распределения и перемешивания добавки с цементом, что может оптимизировать технологию строительства.

Источник финансирования. Программа развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова с использованием оборудования на базе Центра Высочких Технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ланис А.Л., Разуваев Д.А. Усиление грунтов земляного полотна на подходах к мостам и путепроводам // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2016. № 3. С. 97–104.
2. Nakamura T. et al. Development of railway roadbed improvement method for existing lines by reusing deteriorated ballast // Quarterly Report of RTRI, 2014, T. 55. №. 1. pp. 46–50.
3. Jian Q. Study on depth of roadbed working area and its influence factor // Urban Roads Bridges & Flood Control. 2013. T. 10. Pp. 044.

4. Горлов А.В. Инновационный подход к реконструкции земляного полотна // Мир транспорта. 2016. Т. 14. №. 3. С. 106–122.

5. Гребенец В.И., Исаков В.А. Деформации автомобильных и железных дорог на участке Норильск-Талнах и методы борьбы с ними // Криосфера Земли. 2016. Т. 20. № 2. С. 69–77.

6. 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.

7. Акимов А.Е., Траутвайн А.И., Черногиль В.Б. Повышение физико-механических характеристик укрепленных грунтов при применении стабилизирующих добавок серии Чимстон / Наука и образование в современных условиях: сб. материалов международной (заочной) научно-практической конференции // Научно-издательский «Мир науки» (Нефтекамск, 15 сентября 2017 г.), Нефтекамск: Изд-во Научно-издательский центр "Мир науки", 2017. С. 49–55.

8. Li Z., Ma J., Yuan H. Research and practice on grouting technology with new cement-based/polymer composite // Modeling and Computation in Engineering II. 2013. Т. 201. pp. 207–212.

9. Абрамова Т.Т., Босов А.И., Валиева К.Э. Стабилизаторы грунтов в отечественном дорожном и аэродромном строительстве // Дороги и мосты. 2013. № 2 (30). С. 60–85.

10. Pereira R.S. et al. Mechanical stabilization of soils as alternative for construction of low cost forest road // Nativa: Pesquisas Agrárias e Ambientais, 2017. Т. 5. №. 3. Pp. 212–217.

11. Дубина С.И. Инновационные технологии и материалы, применяемые в нижегородской области при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте автомобильных дорог // Дороги и мосты. 2009. № 21. С. 86–98.

12. Гусев Н.К. Строительство конструктивных слоев аэродромных и дорожных одежд из местных материалов // Наука и техника в дорожной отрасли. 2013. № 2 (65). С. 21–22.

13. Пат. 2477659 Российская Федерация, МКП В 02 С 17/20. Шаровая загрузка барабанной мельницы / В.Д. Барбанягрэ; заявитель и правообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2010121271, заявл. 25.05.10; опубл. 20.03.13

14. Лебедев М.С. Размолотоспособность различных классов горных пород и характеристики дисперсности минеральных наполнителей на их основе // Современные научные исследования и разработки. 2017. № 8 (16). С. 311–317. [Электронный ресурс]. Систем. Требования: Adobe Acrobat Reader. URL: http://olimpiks.ru/d/1340546/d/zhurnal_no816-2017.pdf (дата обращения 3.04.2018)

Информация об авторах

Гридчин Анатолий Митрофанович, доктор технических наук, профессор кафедры автомобильных и железных дорог.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Золотых Светлана Николаевна, аспирант кафедры автомобильных и железных дорог.

E-mail: zolotyh.sn@bstu.ru; sveta-zolotykh@yandex.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в январе 2018 г.

© Гридчин А.М., Золотых С.Н., 2018

A.M. Gridchin, S.N. Zolotykh

**PMC NICOFLOK RESEARCH EFFECT AS MECHANOCHEMICAL ACTIVATOR
ON THE CEMENT CHARACTERISTIC USED**

Today the increasing load, intensity and speed of transport require increasing reliability of all structural elements of the transport infrastructure. The problem of increasing reliability of the subgrade is actual. A great popularity in solving these issues is occupied by the practice of strengthening soils with the use of astringents and additives of various effects. One of these widely used additives is a polymer-mineral composition Nicroflok. The article deals with the possibility of directional changes in the properties of cement due to the effect of mechanochemistry in the joint grinding clinker and additives. It was found that the stabilizer has a positive effect on the grinding of cement clinker and contributes to the production of a finer astringent. Also significant influence of mechanochemistry effect is shown on cement properties, such as water consumption, beginning of setting and strength characteristics. The introduction of the polymer-mineral composition into the cement by simple mixing promotes the increase in strength, and the composite binder, prepared by the joint

grinding of Portland cement clinker with Nicoflok, exceeds the composition with manual mixing by the compressive strength by 35% and by bending by 18 %. This can be explained by the uniform distribution of fine particles of the additive and the formed fragments of large granules in the powder volume, which contributes to a better solubility of the stabilizer and its greater impact on the properties of the cement system. The resulting composite cement belongs to a higher class of cement used in strengthening the soil, which can make it possible to reduce the consumption of additives to achieve regulatory targets or reduce the content of the composite binder in the complex strengthening of the soil. This will ultimately have a positive impact on the quality material of the subgrade and can optimize the technology of road construction.

Keywords: *mechanochemical activation, PMC Nicoflok, strengthening of soils, composite cement.*

REFERENCES

1. Lanis A.L., Razuvaev D.A. Strengthening the soils of the roadbed on approaches to bridges and overpasses. Bulletin of the Rostov State University of Railway Transport, 2016, no. 3, pp. 97–104.
2. Nakamura T. et al. Development of railway roadbed improvement method for existing lines by reusing deteriorated ballast. Quarterly Report of RTRI, 2014, vol. 55, no. 1, pp. 46–50.
3. Jian Q. Study on depth of roadbed working area and its influence factor. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2013, vol. 10, pp. 044.
4. Gorlov A.V. Innovative approach to the reconstruction of roadbed. World of transport, 2016, vol. 14, no. 3, pp. 106–122.
5. Grebenets V.I., Isakov V.A. Deformation of roads and Railways at the site of Norilsk-Talnakh and methods of dealing with them. Cryosphere of the Earth. 2016, vol. 20, no. 2, pp. 69–77.
6. Zagorodnykh K.S., Kukina O.B. Analysis of clay soil strengthening problem. Scientific Herald of Voronezh state University of architecture and civil engineering. Series: Student and science. 2016, no. 9, pp. 55–63.
7. Akimov A.E., Trautvain A.I., Chernogil V.B. Increase of physical and mechanical characteristics of fortified soils with the use of stabilizing additives of the Chimston series / Science and education in modern conditions: Sat. materials of the international (correspondence) scientific and practical conference. Scientific and publishing "The World of Science" (Neftekamsk, September 15, 2017), Neftekamsk: Publishing House Science and Publishing Center "World of Science", 2017, pp. 49–55.
8. Li Z., Ma J., Yuan H. Research and practice on grouting technology with new cement-based/polymer composite. Modeling and Computation in Engineering II, 2013, vol. 201, pp. 207–212.
9. Abramova T.T., Basov A.I., Valiev K.E. Soil Stabilizer in domestic road and airfield pavement construction. Roads and bridges, 2013, no. 2 (30) m, pp. 60–85.
10. Pereira R.S. et al. Mechanical stabilization of soils as alternative for construction of low cost forest road. Nativa: Pesquisas Agrárias e Ambientais, 2017, vol. 5, no. 3. pp. 212–217.
11. Dubina S.I. Innovative technologies and materials used in the Nizhny Novgorod region in the construction, reconstruction, overhaul of roads. Roads and bridges, 2009, no. 21, pp. 86–98.
12. Gusev N.K. Construction of structural layers of airfield and road clothes made of local materials. Science and technology in the road sector, 2013, no. 2 (65), pp. 21–22.
13. Barbaneagra D.V. Download of ball drum mill. Patent RF, no. 2010121271, 2013.
14. Lebedev M.S. Grinding Capacity of different classes of rocks and characteristics of dispersion of mineral fillers on their basis/ Modern research and development. 2017, no. 8 (16), pp. 311–317. [Electronic resource.] Systems'. Requirements: Adobe Acrobat Reader. Available at: http://olimpiks.ru/d/1340546/d/zhurnal_no816-2017.pdf (accessed 3.04.2018)

Information about the author

Anatoly M. Gridchin, PhD, Professor
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Svetlana N. Zolotykh, Postgraduate student.
E-mail: zolotykh.sn@bstu.ru; sveta-zolotykh@yandex.ru
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in January 2018