

УДК 691.3

*А.Д. Толстой, К.Ю. Новиков**БГТУ им. В.Г. Шухова***СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПОРОШКОВЫХ БЕТОНОВ НА ТЕХНОГЕННОМ СЫРЬЕ**

Аннотация. В связи с возросшими требованиями к качеству строительных конструкций стало актуальным изучение условий формирования структуры высокопрочного порошкового бетона и разработки приемов управления структурообразующими процессами, влияющими на его качество. В данной статье рассматриваются аспекты проектирования состава, особенности технологии изготовления изделий на основе порошковых бетонов. Изложены результаты определения составов и технологии высокопрочных порошковых бетонов, которые имеют химически активные составляющие. Установлена возможность снижения расхода исходных материалов за счет введения в состав техногенного сырья и органической добавки; снижения расхода энергии и ресурсов; применение нетоксичных и непожароопасных материалов, сберегающих окружающую среду.

Ключевые слова: высокопрочные материалы, порошковые бетоны, техногенное сырье

DOI: 10.22227/2305-5502.2017.2.3

В наши дни актуально применение высокопрочного порошкового бетона, который отличается от традиционного повышенным содержанием цемента, меньшей крупностью частиц, многокомпонентностью состава, повышенной дисперсностью заполнителя [1–4]. Физико-механические свойства такого бетона в основном зависят от свойств составляющих и характеристик бетонной смеси.

Теорией для создания высококачественных композитов является новое научное направление — геоника, которое использует результаты исследований геологических процессов и горных пород для создания строительных материалов будущего [5–7], что позволило разработать систему проектирования порошкового бетона с использованием специально подготовленного геологическими процессами сырья.

Применение современных добавок, таких как гиперпластификатор карбоксилатный MF 1641, французский гиперпластификатор PREMIA 360 при его модификации водорастворимыми продуктами углерода («Астраленам С») и других, оказывает положительное влияние на образование структуры порошкового бетона. На

*A.D. Tolstoy, K.Y. Novikov**BSTU named after V.G. Shukhov***IMPROVING THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF POWDERED CONCRETE ON TECHNOGENIC RAW MATERIALS**

Abstract. Due to the heightened requirements to the quality of building structures, it became necessary to study the conditions of structure formation of high-performance powder concrete and to develop management techniques for structure-forming processes that affect its quality.

In this article, aspects of the composition design and the technology of manufacturing powdered concrete products are considered. The results of creation of the compositions and technology of high-strength powdered concrete containing chemically active ingredients, are presented. The possibility of reducing the consumption of raw materials due to the presence in the composition of man-made raw materials and organic additives is established; as well as lowering consumption of energy and resources; use of non-toxic and non-flammable materials that conserve the environment.

Key words: high-strength materials, powdered concrete, man-made raw materials

DOI: 10.22227/2305-5502.2017.2.3

Nowadays, the use of high-strength powdered concrete, which is distinguished from the traditional by an increased cement content, a smaller particle size, a multicomponent composition, an increased dispersion of the aggregate [1–4]. The physical and mechanical properties of such concrete are mainly defined by the properties of its ingredients and characteristics of the concrete mixture.

The theory of creating high-quality composites is a new scientific field, namely geology, applying the results of researches of geological processes and rocks for creation of building materials of the future [5–7]. All this allowed the development of a system for design of powdered concrete with the use of specially prepared geological processes of raw materials.

The use of modern additives, such as the hyper plasticizer carboxylate MF 1641, the French hyper plasticizer PREMIA 360, modified by water-soluble carbon products (“Astralen S”) and others, has a positive effect on the structure formation of powdered

сегодняшний день известен порошок бетон класса В 100-125 [8–10], в связи с чем актуально исследование условий структурообразования высокопрочного порошкового бетона, роль технологических приемов в данном процессе, а также характер влияния структуры на качество бетона. Многокомпонентность состава порошкового бетона дает положительные результаты. Число компонентов, входящих в состав порошкового бетона, может достигать до пяти и более. Также, помимо количества, значительную роль играет качество заполнителей и наполнителей: удельная поверхность частиц, гранулометрический состав, качество поверхности, пустотность, прочность и т.д.

Важным фактором повышения целесообразности производства высокопрочных порошковых бетонов нового поколения является создание методов оптимизации структуры, способствующей получению высокой степени упорядоченности составляющих ее элементов, изготовление композиционных вяжущих веществ, в состав которых входит техногенное сырье.

В ходе экспериментальных опытов были задействованы минеральные добавки, содержащие как алюминатный и карбонатный компоненты, так и полимерные типовые, такие как Melflux 2651, Melment, С-3, а также тонкомолотый кварцевый песок, сланцы и амфиболиты из добываемых пород Курской магнитной аномалии (КМА). Применение комплексных органо-минеральных добавок и различных вяжущих, где в качестве кремнеземистого компонента используется техногенное сырье в сочетании с супер- и гиперпластификаторами, составляет основу будущей технологии бетона.

Несмотря на все перечисленные выше положительные характеристики высокопрочных порошковых бетонов, их стоимость довольно высока и значительно превышает таковую для обычных бездобавочных бетонов. Поэтому важен поиск многотоннажных минеральных веществ, особенно техногенного происхождения, которые позволят повысить доступность применения новых высокопрочных композиций, не снижая при этом высоких строительно-технических и эстетических показателей. Комплексные добавки являются перспективными применительно к высокопрочным и высококачественным мелкозернистым бетонам, которые вводятся в состав в виде водных растворов, порошков и эмульсий [11–13].

concrete. Nowadays, powdered concrete of class B 100-125 [8–10], has been taken for research of the conditions of formation of high-strength powdered concrete, the role of technological methods in this process, and the nature of the influence of the structure on the quality of concrete. The multi-component composition of powdered concrete brings positive results. The number of ingredients of powdered concrete can be up to five or more. Also, in addition to the quantity, the quality of aggregates and fillers plays a significant role: in particular, particle specific surface, particle size distribution, surface quality, air void ratio strength, etc.

An important factor in increasing the feasibility of producing high-strength powdered concrete of the new generation is the creation of methods for optimizing the structure that facilitates the obtaining of a high degree of realignment of its ingredients, and the production of composite astringents containing man-made raw materials.

In the course of experimental work, mineral additives containing both aluminate and carbonate components and polymer types such as Melnux 2651, Melmint, C-3, have been used, as well as fine-grained quartz sand, shales and amphibolites from the mined rocks of the Kursk Magnetic Anomaly (KMA). The use of complex organo-mineral additives and various astringents, when man-made raw materials are applied as a siliceous ingredient in combination with super and hyper plasticizers, facilitates the future technological of concrete production.

Despite all the above-mentioned effective properties of high-strength powdered concrete, its cost is quite high and far exceeds that for commonly used additives without concrete. Therefore, it is important to look for multi-tonnage minerals, especially those of man-made origin, which could increase availability of new high-performance compositions without lowering their high construction, technical and aesthetic properties. Complex additives are perspective for high-strength and high-quality fine-grained concrete added to the composition in the form of aqueous solutions, powders and emulsions [11–13].

Твердеющие системы порошковых бетонов с техногенными компонентами позволяют получить прочность до 80...100 МПа, что объясняется уплотнением структуры цементного камня.

Уплотнение и упрочнение структуры обусловлено ростом кристаллической фазы и замещением ими водных контактов между отдельными фазами новообразований (рис. 1).

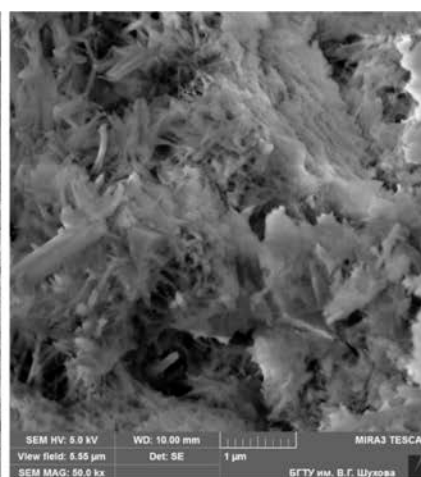
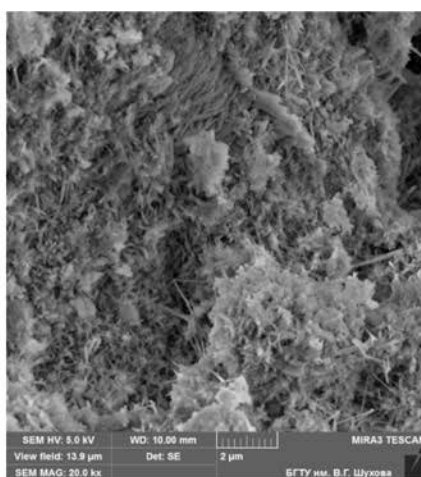
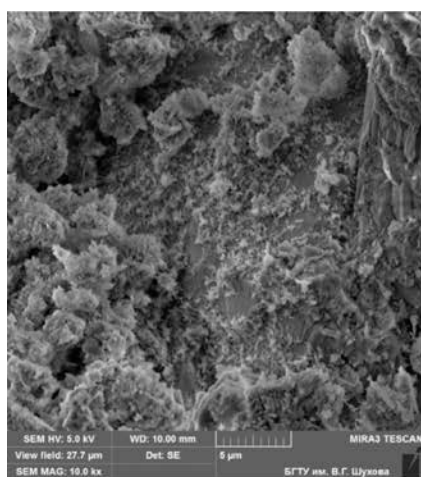


Рис. 1. Микрофотография цементного камня на основе порошкового бетона

Concrete-setting systems of powdered concrete with man-made ingredients allow to reach the desirable strength up to 80...100 MPa, that could be explained by compaction of the structure of cement stone.

The consolidation and strengthening of the structure is performed due to extension of the crystalline phase and the replacement of water contacts between the individual phases of neoplasms (Fig. 1).

Fig. 1. A photomicrograph of a cement stone on the base of powdered concrete

Твердый каркас у всех образцов порошкового бетона состоит из отдельных частиц компонентов техногенного происхождения различной удельной поверхности с ярко выраженной контактной зоной с новообразованиями. При более крупном увеличении можно заметить, что эти частицы почти полностью покрыты продуктами гидратации, так как зерна техногенного сырья являются подложками для формирования новообразований, следствием чего является обилие глобул, сросшихся с их поверхностью (см. рис. 1). Кроме того, входящий в состав микрокремнезем выступает в качестве центров кристаллизации при гидратации, а более крупные частицы порошкового вяжущего выполняют роль микронаполнителя, снижая возможность усадочных деформаций, улучшая эксплуатационные характеристики композита. Кроме того, присутствие микрокремнезема (отход производства ферросилиция), алюмосодержащей добавки, отсева дробления кварцитопесчаника позволяет значительно повысить основные конструктивно-технические и эксплуатационные свойства бетона и строительных изделий, не уменьшая их конструктивной жесткости, устойчивости и долговечности

The solid framework for all samples of powdered concrete consists of separate particles of components of man-made origin. The samples have different specific surface with a pronounced contact zone with neoplasms. If magnification applied it can be seen that these particles are almost completely covered by hydration products, because the grains of man-made raw materials represent the substrates for neoplasms formation, which results in an abundance of globules fused with their surface (see Fig. 1). In addition, the micro silica enters into the composition as crystallization centers during hydration, and larger particles of the powder binder serve as a microfiller, lowering the possibility of compression deformation, improving the performance properties of the composite. In addition, the presence of micro silica (i.e. waste of ferrosilicon production), an alumina-containing additive, and the screening of quartzite sandstone crushing can significantly increase the basic construction, technical and operational properties of concrete and building materials without reducing their structural rigidity, stability and durability (Table).

(табл.). Данная цель была достигнута путем уплотнения структуры, уменьшения пор и микротрещин.

Гелеобразная фаза играет роль пластичной матрицы, объединяющей отдельные кристаллические сростки в единый каркас (рис. 1, справа). Ввод микрокремнезема в совокупности с глиноземистым цементом дает прирост конечной прочности при сжатии образцов кубов до 30...40 %. Частицы микрокремнезема вступают в реакцию с гидроксидом кальция, освобождаемым при гидратации портландцемента, вследствие чего синтезируется гидросиликат кальция.

Ускорению реакции взаимодействия способствует высокая дисперсность микрокремнезема. При распределении частиц большое количество реактивных сферических частиц микрокремнезема окружает каждое зерно цемента, тем самым уплотняя цементный камень, заполняя пустоты прочными продуктами гидратации и улучшая адгезию с заполнителями.

Структура высокопрочного порошкового бетона оптимального состава, полученного при совместном помоле с пластифицирующей добавкой, характеризуется однородным строением (см. рис. 1). Специфика его структуры приводит к активному формированию новообразований за счет присоединения воды, запасенной в порах породы, и в значительной мере способствует формированию микроструктуры контактных зон и всего камня в целом. Предел прочности при сжатии данного вяжущего составляет 95 МПа, что в два раза превосходит прочность обычного бездобавочного цемента. Это подтверждается результатами многих физико-механических испытаний.

Изучение микрофотографий твердеющих композиций показало следующее:

- микроструктура цементного камня, полученного при совместном помоле, обладает большей однородностью, чем при отдельном помоле компонентов;
- в микроструктуре цементного камня наблюдается прораствание игольчатых кристаллов, пронизывающих объем структуры материала;
- наблюдается присутствие плотных новообразований вблизи зерен наполнителя.

This target was achieved by compacting the structure, reducing pores and micro cracks.

The gel-like phase acts as a plastic matrix, which unites individual crystal splices into a single framework (Fig. 1, right). The introduction of micro cracking in conjunction with alumina cement ensures an increase in the ultimate strength when compressing the sample cubes up to 30...40 %. The micro silica particles react with calcium hydroxide released upon hydration of Portland cement, as a result of which calcium hydrosilicate is synthesized.

The high dispersity of micro silica contributes to the acceleration of the reaction. In the distribution of particles, a large number of reactive spherical micro silica particles surround each grain of cement, thereby compacting the cement stone, filling the pinholes with strong hydration products and improving adhesion with aggregates.

The structure of high-strength powdered concrete of optimum composition, obtained by co-grinding with a plasticizing additive, could be characterized as homogeneous (see Fig. 1). The specificity of its structure leads to the active formation of neoplasms due to the addition of water stored in the pores of the rock, and greatly contributes to the formation of the microstructure of the contact zones and the entire stone as a whole. The compressive strength of this binder is 95 MPa, which is twice the strength of conventional non-additive cement. This has been proven by the results of many physical and mechanical tests.

The study of micrographs of hardening compositions has showed the following results:

- the microstructure of cement stone obtained by co-grinding is more homogeneous as compared to the method when the ingredients are grinded separately;
- in microstructure of cement stone, germination of needle crystals penetrating the volume of the structure of the material is observed;
- the presence of dense neoplasms near the filler grains is observed.

Показатели строительно-технических свойств бетона Indicators of construction and technical properties of concrete

Index / Показатель	Бетон / Concrete	
	тяжелый / heavy	порошковый / powdered
Средняя плотность, кг/м ³ / Average density, kg/m ³	2200...2500	2300
Прочность при сжатии, МПа / Compressive strength, MPa	10...50	97,5
Вододерживающая способность, % / Water retention ability, %	78...80	90
Коэффициент конструктивного качества (ККК) / Coefficient of constructive quality (CCQ)	0,17	0,36
Марка по водонепроницаемости, W / Waterproof grade, W	2...4	2
Марка по морозостойкости, F / Frost resistance grade, F	50...150	300
Истираемость, кг/м ² / Wearability, kg/m ²	0,7...0,8	0,36
Усадка / Shrinkage	трещины отсутствуют / cracks absent	
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К) / Coefficient of heat conductivity, W/(m·K)	0,8...1,2	0,089

К нормативному сроку твердения микроструктура порошкового бетона отличается упорядоченностью зернистой составляющей и повышенной плотностью (рис. 2).

The microstructure of powdered concrete is distinguished by the regularity of hardening by realignment of the granular component and the increased density (Fig. 2).

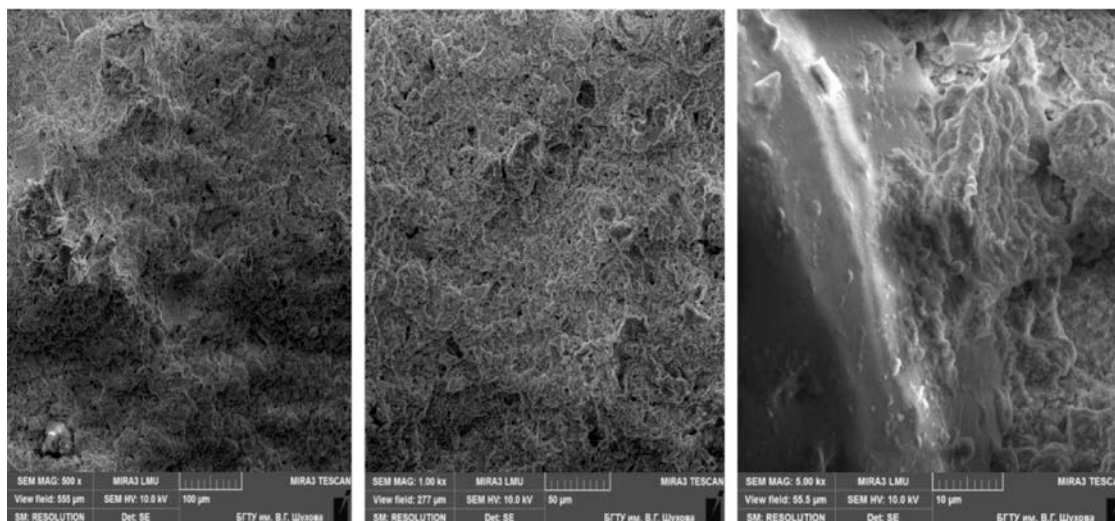


Рис. 2. Микроструктура высокопрочного порошкового бетона на основе тонкомолотого кварцитопесчанника

Fig. 2. Microstructure of high-strength powdered concrete on the base of finely ground quartzite sandstone

На рис. 2 показана плотная структура порошкового бетона, характеризующаяся практически полным отсутствием пор и микротрещин. Этого можно добиться за счет корректирования состава твердеющей композиции, введения необходимого количества тонкодисперсных техногенных компонентов, их плотнейшей упаковки и самоуплотняющего эффекта твердения. Возрастание плотности структуры наблюдалось с нарастающим эффектом в течение времени твердения. Этим предопределяется получение высокопрочного бетона с высокими физико-механическими и эксплуатационными характеристиками. В кон-

Figure 2 shows a dense structure of powdered concrete, characterized by a virtually complete absence of pores and micro cracks. This can be achieved by adjusting the the hardening composition, adding the required amount of finely dispersed man-made components, their closest packing, and the self-compacting effect of hardening. The increase in density of the structure was observed with enhancing effect during the concrete setting period. This predetermines the production of high-strength concrete with high physical-mechanical and operational

це периода твердения, в тот момент, когда искусственный камень достигает своей наивысшей плотности, а следовательно, и динамических характеристик, заканчивается активный процесс связывания портландита. Через 28 сут твердения высокая прочность порошкового бетона с мелкодисперсным заполнителем объясняется высокой степенью упорядоченности зернистой структуры.

Таким образом, сущность модели управления структурообразованием в порошковых высокопрочных твердеющих композициях, в которых осуществлен принцип оптимизации структуры, заключается в создании высокой степени упорядоченности ее составляющих элементов и новообразований, а также увеличении адгезии частиц цементного камня. Результаты проведенных исследований являются основой дальнейшего совершенствования составов для производства высокопрочных порошковых бетонов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высокопрочные бетоны. М. : Изд-во АСВ. 2007. 368 с.
2. Калашников В.И., Тараканов О.В., Кузнецов Ю.С. и др. Бетоны нового поколения на основе сухих тонкозернисто-порошковых смесей // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 8. С. 47–52.
3. Дворкин Л.И., Пашков И.А. Строительные материалы из отходов промышленности. Киев : Вища школа, 2007. 208 с.
4. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. М. : Стройиздат, 1990. 394 с.
5. Лесовик В.С. Геоника (Геомиметика). Примеры реализации в строительном материаловедении. Белгород : Изд-во БГТУ, 2014. 206 с.
6. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Чулкова И.Л. Закон сродства структур в материаловедении // Фундаментальные исследования. 2014. № 3–2. С. 267–271.
7. Толстой А.Д., Лесовик В.С., Ковалева И.А. Органоминеральные высокопрочные декоративные композиции // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2014. № 5. С. 67–69.
8. Bornemann R., Fenling E. Ultrahochfester Beton-Entwicklung und Verhalten // Leipziger Massivbauseminar. 2000. Bd. 10. S. 1–15.
9. Schmidt M., Bornemann R. Möglichkeiten und Crensen von Hochfester Beton // 14. internationale Baustofftagung : ibausil; 20–23. Sept. 2000, Weimar, Tagungsbericht. Weimar: Bauhaus-Universität, 2000. Bd. 1. S. 1083–1091.

properties. At the end of the concrete setting period, when the artificial stone reaches its highest density, and therefore, the dynamic properties, the active process of binding portlandite ends. After 28 days of concrete setting, the high strength of powdered concrete with a fine-grained aggregate could be explained by the high degree of ordering of the granular structure.

Thus, the essence of the structure management model in powdered high-strength hardening compositions in which the principle of structure optimization is implemented is to create a high degree of ordering of its constituent elements and neoplasms, as well as to increase the adhesion of cement stone particles. The results of the studies could serve as the basis for further enhancement of the compositions for the production of high-performance powdered concrete.

REFERENCES

1. Bazhenov Yu.M., Dem'yanova V.S., Kalashnikov V.I. *Modifitsirovannye vysokoprochnye betony* [Modified High-Strength Concretes]. Moscow, ASV Publ., 2007, 368 p. (In Russian)
2. Kalashnikov V.I., Tarakanov O.V., Kuznetsov Yu.S. et al. *Betony novogo pokoleniya na osnove sukhikh tonkozernistoporoshkovykh smesey* [Concretes of New Generation Based on Dry Fine-Grain Powder Mixtures]. *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal* [Magazine of Civil Engineering]. 2012, no. 8, pp. 47–52. (In Russian)
3. Dvorkin L.I., Pashkov I.A. *Stroitel'nye materialy iz otkhodov promyshlennosti* [Building Materials Produced out of Industrial Waste]. Kiev, Vishcha shkola Publ., 2007, 208 p. (In Russian)
4. Batrakov V.G. *Modifitsirovannye betony* [Modified Concretes]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1990, 400 p. (In Russian)
5. Lesovik V.S. *Geonika (Geomimetika). Primery realizatsii v stroitel'nom materialovedenii* [Geonics (Geomimetics). Examples of Implementation in the Construction Material Science]. Belgorod, BSTU Publ., 2014, 206 p. (In Russian)
6. Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.Kh., Chulkova I.L. *Zakon srodstva struktur v materialovedenii* [Law of Affinity of Structures in Material Science]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental Research]. 2014, no. 3–2, pp. 267–271. (In Russian)
7. Tolstoy A.D., Lesovik V.S., Kovaleva I.A. *Organomineral'nye vysokoprochnye dekorativnye kompozitsii* [Organomineral High-Strength Decorative Compositions]. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova* [Bulletin BSTU named after V.G. Shukhov]. 2014, no. 5, pp. 67–69. (In Russian)
8. Bornemann R., Fenling E. *Ultrahochfester Beton-Entwicklung und Verhalten*. Leipziger Massivbauseminar, 2000, bd. 10, s. 1–15.
9. Schmidt M., Bornemann R. *Möglichkeiten und Crensen von Hochfester Beton*. *14 internationale Baustofftagung : ibausil; 20–23 Sept. 2000, Weimar, Tagungsbericht*. Weimar, Bauhaus-Universität, 2000, bd. 1, s. 1083–1091.

10. Толстой А.Д., Лесовик В.С., Ковалева И.А. и др. Высокопрочные материалы для декоративных целей // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 8. С. 51–53.

11. Tolstoi A.D., Lessowik W.S., Kowaljaw I.A. Pulverbetone auf Kompositbindemitteln mit der Verwendung von Industrieabfällen // 19. Internationale Baustofftagung: ibausil; 16.-18. Sept. 2015, Weimar, Tagungsbericht. Weimar: Bauhaus-Universität, 2015. Bd 2. S. 997–1000.

12. De Larrard Francoi. Ultrafine particles for the making of very high strength concretes // Cement, Concrete and Aggregates. 1990. Vol. 12 (2). Pp. 61–69.

13. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Чулкова И.Л. и др. Сродство структур как теоретическая основа проектирования композитов будущего // Строительные материалы. 2015. № 9. С. 18–22.

10. Tolstoy A.D., Lesovik V.S., Kovaleva I.A. et al. Vysokoprochnye materialy dlya dekorativnykh tseley [High-Strength Materials for Decorative Purposes]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering]. 2014, no. 8, pp. 51–53. (In Russian)

11. Tolstoi A.D., Lessowik W.S., Kowaljaw I.A. Pulverbetone auf Kompositbindemitteln mit der Verwendung von Industrieabfällen. *19 Internstionale Baustofftagung: ibausil, 16-18 Sept. 2015, Weimar, Tagungsbericht*. Weimar, Bauhaus-Universität, 2015, bd 2, s. 997–1000. (In German)

12. De Larrard Francoi. Ultrafine Particles for the Making of Very High Strength Concretes. *Cement, Concrete and Aggregates*. 1990, vol. 12 (2), pp. 61–69.

13. Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.Kh., Chulkova I.L. et al. Srodstvo struktur kak teoreticheskaya osnova proektirovaniya kompozitov budushchego [Affinity of Structures as a Theoretical Basis for Designing of Composites of the Future]. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2015, no. 9, pp. 18–22. (In Russian)

Received in May 2017.

Поступила в редакцию в мае 2017 г.

Об авторах: Толстой Александр Дмитриевич, кандидат технических наук, профессор кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова), Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46, tad56@mail.ru;

Новиков Константин Юрьевич, магистрант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова), 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46, k.nowikow94@yandex.ru.

About the authors: Tolstoy Aleksandr Dmitrievich, Candidate of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Construction Materials Science, Products and Constructions, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (BSTU named after V.G. Shukhov), 46 Kostyukova str., Belgorod, 308012, Russian Federation; tad56@mail.ru;

Novikov Konstantin Yur'evich, Master Student Department of Construction Materials Science, Products and Constructions, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (BSTU named after V.G. Shukhov), 46 Kostyukova str., Belgorod, 308012, Russian Federation; k.nowikow94@yandex.ru.

Для цитирования:

Толстой А.Д., Новиков К.Ю. Совершенствование структуры и свойств порошковых бетонов на техногенном сырье // Строительство: наука и образование. 2017. Т. 7. Вып. 2 (23). Ст. 3. Режим доступа: <http://nso-journal.ru>.

For citation:

Tolstoy A.D., Novikov K.Y. Sovershenstvovanie struktury i svoystv poroshkovykh betonov na tekhnogenom syr'e [Improving the Structure and Properties of Powdered Concrete on Technogenic Raw Materials]. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2017, vol. 7, issue 2 (23), paper 3. Available at: <http://www.nsojournal.ru>. (In Russian)