

УДК 692.533.15

*ГУРЬЕВА ВИКТОРИЯ АЛЕКСАНДРОВНА, докт. техн. наук, доцент,
victoria-gurieva@rambler.ru*

*Оренбургский государственный университет,
460018, г. Оренбург, пр. Победы, 13,*

*КУДЯКОВ АЛЕКСАНДР ИВАНОВИЧ, докт. техн. наук, профессор,
kudyakow@tsuab.ru*

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2,*

*БЕЛОВА ТАТЬЯНА КОНСТАНТИНОВНА, преподаватель,
belova_tatyana_90@mail.ru*

*Оренбургский государственный университет,
460018, г. Оренбург, пр. Победы, 13*

ЦЕМЕНТНО-ПЕСЧАНЫЙ РАСТВОР С МОДИФИЦИРОВАННЫМИ БАЗАЛЬТОВЫМИ МИКРОВОЛОКНАМИ ДЛЯ ПОЛОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ

Приведены результаты исследований свойств цементно-песчаного раствора с базальтовыми микроволокнами, модифицированными углеродными наночастицами. Требуемая прочность раствора на сжатие (30 МПа) достигается при содержании модифицированных базальтовых микроволокон 1 % от массы цемента. При этом обеспечивается прирост прочности раствора на изгиб на 77,5 %, уменьшение усадочных деформаций на 56,2 %, повышение износостойкости до 0,4 г/см². Разработанные составы и технология приготовления раствора рекомендованы для промышленного использования при устройстве полов промышленных зданий.

Ключевые слова: промышленные полы; цементно-песчаные смеси и растворы; приготовление смесей; составы; базальтовые волокна; наномодифицированные базальтовые волокна; подвижность; прочность; усадочные деформации; износостойкость.

*VIKTORIYA A. GUR'YEV, DSc, A/Professor,
victoria-gurieva@rambler.ru*

*Orenburg State University,
13, Pobedy Ave., 460018, Orenburg, Russia,*

*ALEKSANDR I. KUDYAKOV, DSc, Professor,
kudyakow@tsuab.ru*

*Tomsk State University of Architecture and Building,
2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia,*

*TAT'YANA K. BELOVA, Lecturer,
belova_tatyana_90@mail.ru*

*Orenburg State University,
13, Pobedy Ave., 460018, Orenburg, Russia*

CEMENT-SAND MIXTURE WITH MODIFIED BASALT MICROFIBERS FOR INDUSTRIAL FLOORING

The paper presents investigation results on properties of cement-sand mixture with basalt microfibers modified with carbon nanoparticles. The required compressive strength (30 MPa) of this mixture is achieved when the content of modified basalt microfibers achieves 1 wt.%. In this case, the flexural strength of the mortar is increased by 77.5 %, the shrinkage strain is reduced by 56.2 %, and the wear resistance is increased up to 0.4 g/cm². The developed compositions and enry mortar technology are recommended for the industrial flooring.

Keywords: industrial flooring; cement-sand mixture; mixture preparation; compositions; nanomodified basalt fibers; mobility; strength; shrinkage; wear resistance.

В связи с необходимостью импортозамещения и развития производства конкурентоспособной и малоэнергоёмкой продукции в России возникает необходимость разработки инновационных технологий для ее производства и строительства многофункциональных промышленных зданий и сооружений с учетом повышенных механических и эксплуатационных нагрузок на полы [1, 2]. При проектировании и устройстве полов промышленных зданий большое внимание уделяется применению новых эффективных строительных материалов из местных сырьевых ресурсов и технологий, что позволяет эффективно решать задачи ресурсного обеспечения и достижения требуемых эксплуатационных характеристик покрытия пола.

Наиболее распространенными материалами для устройства полов промышленных предприятий являются цементные бетоны и растворы [2]. Технологии монолитных растворных цементных полов относительно просты в ресурсном обеспечении, процессах устройства, а покрытия характеризуются достаточно высокой прочностью на сжатие [3]. Согласно требованиям СП 29.13330–2011, цементное растворное покрытие применяется в производственных помещениях с различной интенсивностью механических воздействий на пол. При высокой прочности на сжатие цементно-песчаные растворы характеризуются недостаточной сопротивляемостью растягивающим и изгибающим усилиям, возникающим под воздействием нагрузок от технологического оборудования, тележек на металлических шинах, транспортных средств на гусеничном ходу, что может быть причиной образования трещин, шелушения поверхности, сколов или отслаивания покрытий [4].

Для повышения трещино- и износостойкости, а также стойкости к динамическим и вибрационным нагрузкам при изготовлении строительных конструкций на основе цементных песчаных композиций, в том числе и полов производственных помещений, рекомендуется использовать микроармирующие органические, минеральные и стальные волокна [5–8]. В настоящее время наиболее распространенным при устройстве полов промышленных зданий является сталефибробетон [9]. Однако технологически очень сложно равномерно распределить стальные фибры в объеме растворной смеси, что существенно снижает однородность структуры, показатель класса по прочности и долговечность полов промышленных предприятий. Наиболее эффективным микроармирующим материалом, упрочняющим цементный камень в раство-

рах и бетонах, являются базальтовые микроволокна [8, 10, 11]. Для ускорения скорости структурообразования, повышения прочности сцепления базальтовых волокон с цементным камнем, а также прочности раствора и трещиностойкости полов предложено базальтовые волокна модифицировать наночастицами. При введении модифицированных базальтовых микроволокон (МБМ) в растворную смесь формируется плотная структура цементного камня на микро- и наноуровнях [11–14].

Для повышения прочности при изгибе и трещиностойкости цементных растворов авторами предложено в процессе приготовления цементной растворной смеси вводить базальтовые микроволокна с поверхностью, модифицированной углеродными наночастицами.

Цель исследований – разработать научно обоснованные составы и изучить свойства цементно-песчаных растворов с модифицированными базальтовыми микроволоконными, а также установить эффективность их применения для устройства полов промышленных зданий.

При проведении исследований цементно-песчаных растворов для устройства полов с высокими эксплуатационными свойствами применялись следующие сырьевые материалы: портландцемент ПЦ 500-Д0 Южно-уральской Горноперерабатывающей Компании, г. Новотроицк (ГОСТ 10178–85), песок для строительных работ Архиповского месторождения Оренбургской области с истинной плотностью $\rho_{ист} = 2500 \text{ кг/м}^3$, насыпной плотностью $\rho_n = 1480 \text{ кг/м}^3$ и модулем крупности $M_k = 2,81$ (ГОСТ 8735–88), суперпластификатор «Штайнберг GROS-63МС» (ТУ 5745-008-69867132–2011). В качестве армирующих волокон применялись модифицированные базальтовые микроволокна ООО «НТЦ Прикладных нанотехнологий (МБМ). Средний диаметр микроволокон – 8–10 мкм, длина – 500 мкм. На поверхность базальтовых волокон методом распыления суспензии нанесены полиэдральные многослойные наночастицы фуллероидного типа с межслоевым расстоянием 0,34–0,36 нм и средним размером частиц 60–200 нм.

Растворная смесь готовилась в лабораторных смесителях механического принудительного действия. Определение свойств и оценка качества растворной смеси и раствора проводились по ГОСТ 5802–86 и ГОСТ 28013–88, прочность раствора при сжатии – на образцах-кубах размером 70,7×70,7×70,7 мм, а предел прочности раствора при изгибе – на образцах-балочках размером 40×40×160 мм. Образцы твердели в стандартных условиях.

Для исследования микроструктуры цементно-песчаного раствора использовался растровый электронный микроскоп (РЭМ) японской фирмы JEOL JSM-6460LV, снабженный системой микроанализа Oxford INCA Energy. Рентгенофазовый анализ выполнен на дифрактометре ДРОН-3 с модифицированной приставкой PDWin.

При проведении исследований в качестве базового (контрольного) принят состав растворной смеси без волокон с цементно-песчаным отношением по массе Ц:П = 1:3,8 и водоцементным отношением В/Ц = 0,5, обеспечивающим получение смеси с маркой по подвижности Пк4, необходимой для обеспечения принятой трубопроводной технологии устройства полов промышленных зданий.

Результаты исследований

При введении в цементно-песчаные растворные смеси модифицированных базальтовых микроволокон незначительно снижается подвижность (в пределах требуемой марки Пк4) и раскраиваемость по сравнению со смесями контрольного состава.

На рис. 1 показано влияние содержания модифицирующей добавки МБМ на прочность при сжатии и при изгибе. Наибольший прирост прочности раствора как при сжатии (34,7 %), так и при изгибе (100,7 %) получен при содержании МБМ в растворной смеси в количестве 1 % от массы цемента. Прогрессирующая динамика превышения прочности раствора при изгибе по сравнению с прочностью при сжатии наблюдается на рис. 2.

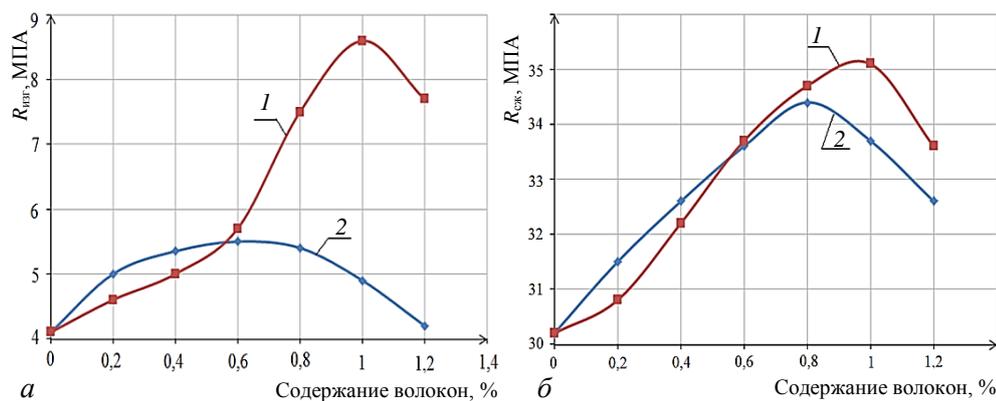


Рис. 1. Влияние количества и вида базальтовых волокон на прочностные характеристики цементно-песчаного раствора: а – предел прочности при изгибе; б – предел прочности при сжатии; 1 – составы с МБМ; 2 – составы с базальтовым волокном ВФ 13-12р

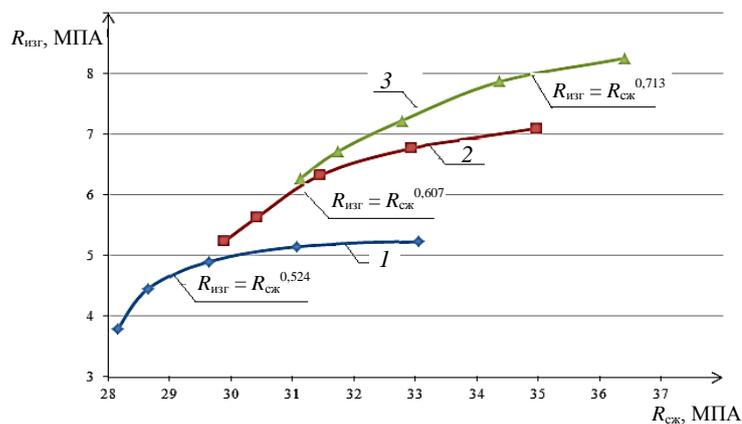


Рис. 2. Динамика относительного прироста прочности при изгибе и при сжатии раствора в возрасте 28 сут твердения: 1 – раствор без МБМ; 2 – с 0,5 % МБМ; 3 – с 1 % МБМ

Проведены сравнительные исследования прочностных характеристик растворов, модифицированных базальтовым микроволокном (МБМ) и используемым в строительной практике базальтовым волокном BF 13-12p (рис. 1). Установлено, что в цементно-песчаных растворах с добавкой МБМ в количестве 1 % по массе по сравнению с образцами с базальтовым волокном BF 13-12p прочность на сжатие увеличивается на 4,5 %, а прочность при изгибе – на 77,5 %.

Истираемость цементно-песчаного раствора с оптимальным содержанием добавки МБМ равна 0,4 г/см², что согласно СП 29.13330.2011 позволяет характеризовать его как износостойчивый материал, пригодный для устройства покрытий малопылящих полов промышленных зданий.

Установлено снижение усадки цементно-песчаного раствора с добавкой МБМ на 56,2 %, а дисперсно-армированных базальтовым волокном BF 13-12p – на 39,8 %, по сравнению с контрольным составом (рис. 3). Снижение усадочной деформации модифицированных растворов с МБМ, а также повышенная прочность на растяжение с изгибом позволяют прогнозировать снижение интенсивности образования усадочных трещин при твердении растворов и повышение эксплуатационных характеристик монолитного пола.

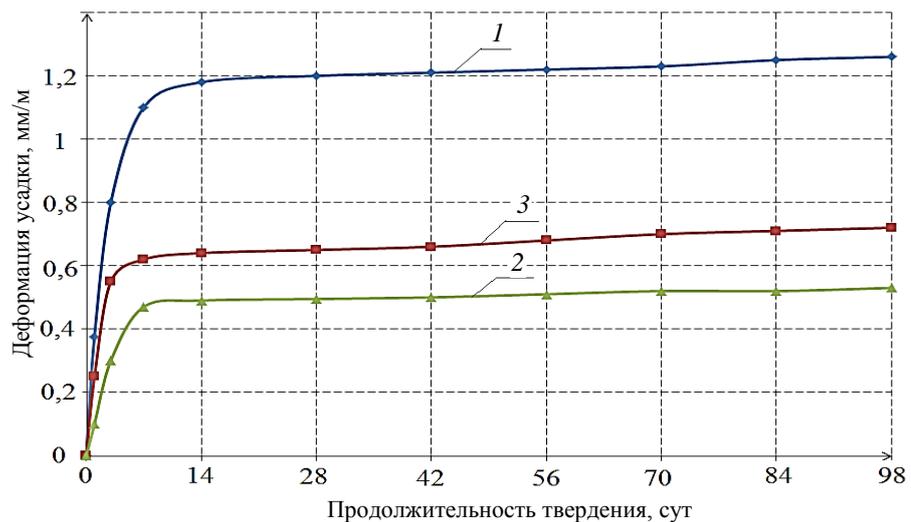


Рис. 3. Кинетика развития усадочных деформаций цементно-песчаного раствора с микроармирующими базальтовыми волокнами:
1 – раствор без МБМ; 2 – с 1 % МБМ; 3 – с BF 13-12p

В образце контрольного состава наблюдаются трещины (рис. 4, а). Цементно-песчаный раствор с добавкой МБМ обладает более плотной и однородной микроструктурой (рис. 4, б). В контактной зоне «модифицированное базальтовое микроволокно – цементный камень» идентифицируются гидросиликаты и углеродные наночастицы. Контактная зона характеризуется хорошим сцеплением цементного камня к микроволокнам, что способствует формированию малодефектной структуры цементного раствора (рис. 4, б).

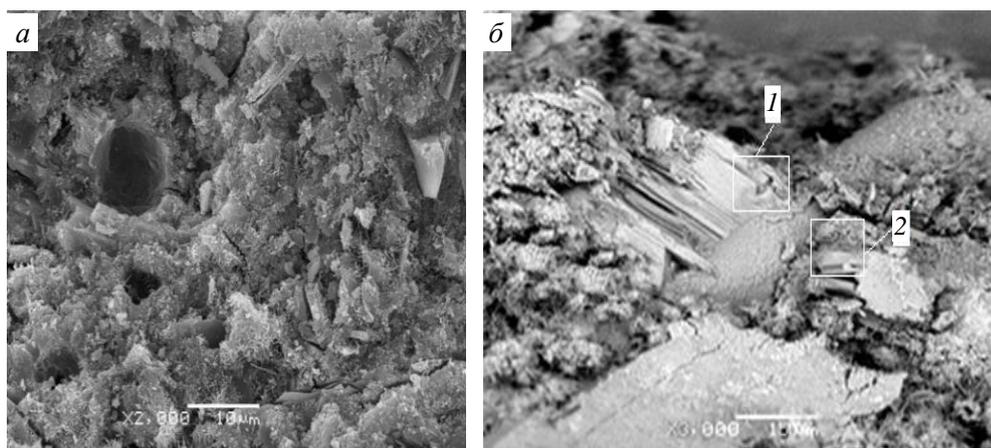


Рис. 4. Микроструктура образцов цементно-песчаного раствора:
 а – контрольного состава; б – состава с 1 % МБМ

Таким образом, при введении в цементно-песчаную смесь модифицированных наночастицами базальтовых микроволокон в количестве 1 % от массы цемента обеспечивается заданная прочность на сжатие (более 30 МПа), повышение прочности при изгибе на 77,5 %, снижение усадочных деформаций на 56,2 %, повышение износостойкости до 0,4 г/см², что позволяет рекомендовать разработанный цементно-песчаный раствор для устройства полов промышленных зданий со значительной интенсивностью механических воздействий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ибрагимов, Р.А.* Анализ современных технологических решений напольных покрытий промышленных зданий / Р.А. Ибрагимов, Р.Р. Богданов, С.Н. Шебанова // Известия КГАСУ. – 2016. – № 4. – С. 416–421.
2. *Трещиностойкие высокопрочные наливные полы «БеПоРс» на модифицированном гидравлическом вяжущем* / М.Н. Мороз, С.В. Ананьев, Р.Н. Москвин, Е.А. Белякова // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2014. – № 2 (10). – С. 178–185.
3. *Горб, А.* Состояние, проблемы и основные факторы, влияющие на устройство качественных бетонных полов на объектах промышленно-складского назначения / А. Горб // Склад и техника. – 2013. – № 10. – С. 21–23.
4. *Пшеничный, Г.Н.* Проблемы, существующие в бетоноведении / Г.Н. Пшеничный // Технологии бетонов. – 2014. – № 12. – С. 42–46.
5. *Клюев, С.В.* Высокопрочный фибробетон для промышленного и гражданского строительства / С.В. Клюев // Инженерно-строительный журнал. – 2012. – № 8. – С. 61–66.
6. *Технология и состав углеродофибробетона с повышенной однородностью прочностных показателей* / А.И. Кудяков, В.С. Плевков, В.В. Белов, А.В. Невский, К.Л. Кудяков // Вопросы материаловедения. – 2016. – № 1. – С. 66–72.
7. *Порошковые фибробетоны со сверхвысокой прочностью с дисперсным армированием фиброй* / В.И. Калашников [и др.] // Новые энерго- и ресурсосберегающие наукоемкие технологии в производстве строительных материалов : матер. Междунар. науч.-техн. конф. – Пенза, 2011. – С. 41–48.
8. *Совершенствование технологии изготовления базальтофибробетона с повышенной однородностью* / А.И. Кудяков, В.С. Плевков, К.Л. Кудяков, А.В. Невский, А.С. Ушакова // Строительные материалы. – 2015. – № 10. – С. 44–48.

9. Тяжелонагруженные полы на основе мелкозернистых фибробетонов / С.В. Клюев, А.В. Клюев, Д.М. Сопин, А.В. Нетребенко, С.А. Казлитин // Инженерно-строительный журнал. – 2013. – № 3. – С. 7–14.
10. Низина, Т.А. Мелкозернистые дисперсно-армированные бетоны на основе комплексных модифицирующих добавок / Т.А. Низина, А.Н. Пономарев, А.С. Балыков // Строительные материалы. – 2016. – № 9. – С. 68–73.
11. Фаликман, В.Р. Наноматериалы и нанотехнологии в современных бетонах / В.Р. Фаликман // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – № 1. – С. 31–34.
12. Белова, Т.К. Приготовление в турбулентном смесителе цементного раствора, дисперсно-армированного модифицированной микрофиброй / Т.К. Белова // Вестник Московского государственного строительного университета. – 2016. – № 3. – С. 47–58.
13. Gurieva, V.A. Structural features of the cement-sand mortar reinforced modified basalt micro-fiber / V.A. Gurieva, T.C. Belova // Procedia Engineering. Materials of 2nd International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2016). – 2016. – V. 150. – P. 2163–2167.
14. Реология как инструмент определения удобоукладываемости / Ф. Курго, Ф. Лонгли, У. Мартенсвик, С. Кара // СРІ. Международное бетонное производство. – 2011. – № 4. – С. 38–45.

REFERENCES

1. Ibragimov R.A., Bogdanov R.R., Shebanova S.N. Analiz sovremennykh tekhnologicheskikh reshenii napol'nykh pokrytii promyshlennykh zdaniy [The analysis of modern flooring technologies in industry]. *Izvestiya KGASU*. 2016. No. 4. Pp. 416–421. (rus)
2. Moroz M.N., Anan'ev S.V., Moskvina R.N., Belyakova E.A. Treshchinostoikiye vysokoprochnyye nalivnye poly 'BePoRs' na modifitsirovannom gidravlicheskom vyazhushchem [Crack resistant BePoRs poured floors based on modified hydraulic cement]. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve*. 2014. No. 2 (10). Pp. 178–185. (rus)
3. Gorb A. Sostoyaniye, problemy i osnovnyye faktory, vliyayushchie na ustroystvo kachestvennykh betonnykh polov na ob'ektakh promyshlenno-skladskogo naznacheniya [State, problems and main factors of quality concrete flooring in industrial use]. *Sklad i tekhnika*. 2013. No. 10. Pp. 21–23. (rus)
4. Pshenichnyi G.N. Problemy, sushchestvuyushchie v betonovedenii [Problems in concrete studies]. *Tekhnologii betonov*. 2014. No. 12. Pp. 42–46. (rus)
5. Klyuev S.V. Vysokoprochnyy fibrobeton dlya promyshlennogo i grazhdanskogo stroitel'stva [High-strength fiber concrete for industrial and civil applications]. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal*. 2012. No. 8. Pp. 61–66. (rus)
6. Kudyakov A.I., Plevkov V.S., Belov V.V., Nevskii A.V., Kudyakov K.L. Tekhnologiya i sostav uglerodofibrobetona s povyshennoi odnorodnost'yu prochnostnykh pokazatelei [Technology and composition of carbon fiber concrete with increase in strength homogeneity]. *Voprosy materialovedeniya*. 2016. No. 1. Pp. 66–72. (rus)
7. Kalashnikov V.I. Poroshkovyye fibrobetony so sverkhvysokoi prochnost'yu s dispersnym armirovaniem fibroi [Powder fiber concretes of superhigh strength]. *Proc. Int. Sci. Conf. 'New Energy- and Resource-Saving Technologies in Construction Materials Production'*. Penza, 2011. Pp. 41–48. (rus)
8. Kudyakov A.I., Plevkov V.S., Kudyakov K.L., Nevskii A.V., Ushakova A.S. Sovershenstvovanie tekhnologii izgotovleniya bazal'tofibrobetona s povyshennoi odnorodnost'yu [Modern technologies of basalt fiber concrete with improved homogeneity]. *Stroitel'nye materialy*. 2015. No. 10. Pp. 44–48. (rus)
9. Klyuev S.V., Klyuev A.V., Sopin D.M., Netrebenko A.V., Kazlitin S.A. Tyazhelonagruzhennyye poly na osnove melkozernistykh fibrobetonov [Heavy-loaded floors based on fine fiber concretes]. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal*. 2013. No. 3. Pp. 7–14. (rus)
10. Nizina T.A., Ponomarev A.N., Balykov A.S. Melkozernistyye dispersno-armirovannyye betony na osnove kompleksnykh modifitsiruyushchikh dobavok [Fine fiber concrete based on complex modifying additives]. *Stroitel'nye materialy*. 2016. No. 9. Pp. 68–73. (rus)

11. *Falikman V.R.* Nanomaterialy i nanotekhnologii v sovremennykh betonakh [Nanomaterials and nanotechnologies in modern concretes]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2013. No. 1. Pp. 31–34. (rus)
12. *Belova T.K.* Prigotovlenie v turbulentnom smesitele tsementnogo rastvora, dispersno-armirovannogo modifitsirovannoi mikrofibroi [Fiber-reinforced cement preparation in turbulent mixer]. *Vestnik MGSU*. 2016. No. 3. Pp. 47–58. (rus)
13. *Gurieva V.A., Belova T.C.* Structural features of the cement-sand mortar reinforced modified basalt microfiber. *Procedia Engineering. Proc. 2nd Int. Conf. Industrial Engineering (ICIE-2016)*. 2016. V. 150. Pp. 2163–2167.
14. *Kurto F., Longli F., Martensvik U., Kara S.* Reologiya kak instrument opredeleniya udoboukladyvaemosti [Rheology as instrument for remoldability identification]. *Mezhdunarodnoe betonnoe proizvodstvo*. 2011. No. 4. Pp. 38–45. (rus)