

Шинкевич Елена Святославовна, д-р техн. наук, профессор, Одесская государственная академия строительства и архитектуры (г. Одесса, Украина)

Тертычный Андрей Андреевич, младший научный сотрудник, Одесская государственная академия строительства и архитектуры (г. Одесса, Украина)

Луцкий Евгений Сергеевич, канд. техн. наук, доцент, Одесская государственная академия строительства и архитектуры (г. Одесса, Украина)

ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И СТРОИТЕЛЬНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ РАСТВОРОВ

© РУП «Институт БелНИИС», 2019
Institute BelNIIS RUE, 2019

АННОТАЦИЯ

В статье отражены результаты исследования влияния различных активных микро- и макронаполнителей, которые содержат кремнезем с различными величинами площади удельной поверхности, структурой и полиминеральным составом. Установлено, что исследуемые наполнители и различные типы пластификаторов могут по-разному влиять на процессы структурообразования и твердения растворов.

Целью исследований является разработка оптимальных составов растворных смесей, модифицированных различными по происхождению и строению кремнеземистыми добавками, микро- и макронаполнителями и получение на их основе растворов различного назначения с высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

В работе рассчитаны и проанализированы экспериментально-статистические модели, которые описывают влияния выбранных и обоснованных факторов состава на физико-механические и строительно-эксплуатационные свойства.

Установлено, что физико-механические свойства растворов с минеральными добавками за счет оптимизации их составов могут быть значительно улучшены, так: прочность сцепления раствора покрытия со стяжкой возрастает в 3 раза, прочность на сжатие в 1,5–2,5 раза, в зависимости от типа используемого пластификатора толщина контактного слоя между стяжкой и покрытием составляет 1 мм, микротвердость шва и околоконтактной зоны $\geq 20,00$, индекс звукоизоляции составляет 58 дБ.

В результате исследований предложена схема формирования контактного слоя между стяжкой и напольным покрытием из прокладочного слоя с учетом влияния наполнителей различного вида для повышения адгезионной стойкости и снижения истираемости многослойной конструкции в виде пола.

Показано, что большую роль играет содержание пористых наполнителей, которые содержат кремнезем в виде трепела полифаркционного состава $S_{yd}^2 + S_{yd}^3$.

Экспериментально подтверждена рациональность замены суперпластификатора С-3 на Melflux с целью интенсификации адгезионной стойкости модифицированных растворов.

Ключевые слова: экспериментально-статистическое моделирование, удельная поверхность, макро- и микронаполнители, суперпластификатор, гиперпластификатор, мелкозернистые растворы и бетоны.

Для цитирования: Шинкевич, Е. С. Исследования физико-механических и строительно-эксплуатационных свойств модифицированных растворов / Е. С. Шинкевич, А. А. Тертычный, Е. С. Луцкий // Проблемы современного бетона и железобетона : сб. науч. тр. / Ин-т БелНИИС; редкол.: О. Н. Лешкевич [и др.]. – Минск, 2019. – Вып. 11. – С. 348–362. <https://doi.org/10.35579/2076-6033-2019-11-21>

Elena Shinkevich, DSc in Engineering Science, Professor, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture (Odessa, Ukraine)

Andrey Tertychny, Junior Researcher, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture (Odessa, Ukraine)

RESEARCHES OF PHYSIC-MECHANICAL AND CONSTRUCTION-OPERATIONAL PROPERTIES OF MODIFIED SOLUTIONS

ABSTRACT

The article reflects the results of a study of the influence of various active micro- and macro fillers, which contain silica with different values of specific surface area, structure and mineral composition. It has been established that the studied fillers and various types of plasticizers can affect the structure formation and hardening of solutions in different ways.

The aim of the research is to develop optimal compositions of mortar mixes modified with silica additives of micro- and macro-fillers of various origin and structure and to obtain solutions for various purposes with high physic-mechanical and operational properties on their basis.

The paper calculated and analyzed experimental-statistical models that describe the effects of selected and justified composition factors on the physic-mechanical and construction and operational properties.

It has been established that the physic-mechanical properties of solutions with mineral additives can be significantly improved by optimizing their compositions, as follows: the adhesion strength of a coating solution with a coupler increases 3 times, the compressive strength 1.5 - 2.5 times, depending on the type of plasticizer used, the thickness of the contact layer between the tie and the coating is 1 mm, the micro hardness of the joint and the near-contact zone is ≥ 20.00 , the sound insulation index is 58 dB;

As a result of research, a scheme has been proposed for the formation of a contact layer between a coupler and a floor covering of a gasket layer, taking into account the influence of various types of fillers, in order to increase the adhesive resistance and reduce the abrasion of the multilayer structure in the form of a floor.

It has been shown that the content of porous fillers, which contain silica in the form of tripoli of polyfraction composition $Ss^2 + Ss^3$, plays a large role.

The rationality of replacing the C-3 superplasticizer with Melflux has been experimentally confirmed.

Keywords: experimental statistical modeling, specific surface area, macro-, microfillers, superplasticizer, hyper plasticizer, fine grained solutions, fine-grained concretes.

For citation: Shinkevich E., Tertychny A., Lutskin E. Researches of physic-mechanical and construction-operational properties of modified solutions. *Contemporary Issues of Concrete and Reinforced Concrete: Collected Research Papers*. Minsk. Institute BelNIIS. Vol. 11. 2019. pp. 348–362. <https://doi.org/10.35579/2076-6033-2019-11-21> (in Russian)

ВВЕДЕНИЕ

Высокоподвижные и растворные смеси все шире применяются в современном строительстве, однако технологические параметры их приготовления еще не проработаны в достаточной степени [1, 2, 3, 4, 5]. Содержание мелкозернистой составляющей приводит к изменению реологических и физико-механических свойств растворов. Важным технологическим переделом является последовательность загрузки компонентов смеси. Процессы перемешивания при использовании мелких заполнителей необходимо корректировать через развитую поверхность частиц твердой фазы.

Наиболее перспективным направлением на современном этапе является применение в бетонах и растворах таких наполнителей, которые содержат кремнезем, таких как микрокремнезем и метакраин [6, 7, 8].

Различные активные микро- и макронаполнители, содержащие кремнезем с различными величинами площади удельной поверхности, структурой и полиминеральным составом, могут по-разному влиять на реологию смесей, процессы структурообразования и твердения растворов [9].

В то же время вопрос совместного действия этих добавок и приоритетность их влияния в составе высокоподвижных смесей с различными пластификаторами изучены недостаточно.

ПОСТАНОВКА ИССЛЕДОВАНИЙ И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для изготовления модифицированного мелкозернистого раствора были использованы следующие материалы: портланд-цемент марки ПЦ I-500-Д0, производитель ОАО «Хайденберг Цемент Украина» согласно ДСТУ В.2.7-46:2010; в качестве мелко-го заполнителя использовался песок карьерный Вознесенского (Никитинского) месторождение с модулем крупности 1,25 согласно ДСТУ Б В.2.7-232:2010; в качестве водоредуцирующей добавки была использована добавка суперпластификатор С-3 (ТУ 2481-001-51831493-00) или поликарбоксилатный гиперпластификатор Melflux; макрозаполнитель тонкомолотый трепел Кировоградского механического завода согласно ТУ У14.2-00374485-004: 2005, размолотый до Суд-300, 450 и 600 м²/кг макрозаполнитель, для сравнения с аморфным трепелом – молотый кварцевый песок, также размолотый до Суд-300, 450 и 600 м²/кг, в качестве микрозаполнителя, снижающего процессы усадки, повышающего трещиностойкость, использовался волластонит (далее ВЛ) (CaSiO₃) МВ-05-96, поставляемый «Импексинвест» г. Харьков; с целью уплотнения структуры в качестве тонкодисперсного микрозаполнителя в растворную смесь применяли высокоактивный метакаолин (далее ВМК). По своему химическому составу метакаолин соответствует ТУ У 14.2-363632275-001: 2009. Производитель ООО «Мета-Д», г. Днепропетровск.

Для определения оптимального состава был применен метод подбора состава мелкозернистой смеси по экспериментально-статистическим моделям (далее ЭС-моделям) [10]. Всего было проведено четыре объемных однотипных эксперимента. В результате реализации натурных экспериментов были рассчитаны ЕС-модели изменения свойств 24 различных составов смесей. В каждом из двух экспериментов смеси готовились двумя различными технологическими средствами: традиционным, с помощью низкооборотной дрели, и перспективным, в смесителе-активаторе

с числом оборотов 2400 об./мин. [11]. Образцы твердели в нормальных (комфортных) условиях.

Важное значение имел не только выбор, но и рациональное объединение материалов, добавок и наполнителей.

Для анализа взаимовлияния добавок-наполнителей и добавок пластификаторов и оценки синергетических эффектов между ними было проведено четыре однотипных эксперимента по одному и тому же шестифакторному плану МТQ, разработанному Ляшенко Т. В.

Минеральные наполнители измельчались до $S_{уд} = 300; 450; 600 \text{ (м}^2/\text{кг) - } v1; v2; v3$ - в $\Sigma (v1; v2; v3) = 1$, то есть эти три фактора зависимы. В двух экспериментах использован молотый трепел, в двух других – молотый песок. Влияние $S_{уд}$ на свойства иллюстрируют смесевые треугольные диаграммы с изолиниями.

В качестве независимых факторов состава варьировались: содержание микронаполнителей $ВМК = X4 = 6 \pm 4 \%$, $ВЛ = X5 = 5 \pm 5 \%$ и суперпластификатора $С-3 = X6 = 1 \pm 0,5 \%$. Влияние факторов $X4, X5, X6$ на свойства иллюстрируют диаграммы в виде кубов и квадратов.

Для повышения эффективности приготовления растворных смесей и достижения улучшенных свойств растворов рассматривались различные условия их приготовления.

В первом и втором экспериментах смеси готовились традиционным способом: подвижные активированы смеси с тонкомолотым плотным наполнителем в виде кварцевого песка (НАС-П) и легким в виде трепела (НАС-Т) с $В/Ц = 0,5$. В третьем и четвертом экспериментах готовились высокоподвижные активированные смеси аналогичных составов с кварцевым песком (АС-П) и с трепелом (АС-Т) в скоростном смесителе с $В/Ц = 0,7$.

В результате реализации четырех однотипных экспериментов рассчитаны четыре группы ЭС-моделей, описывающие изменение одинаковой группы свойств в каждом эксперименте. Такая постановка экспериментальных исследований позволила провести на базе вычислительных экспериментов сравнительный анализ изменения показателей качества растворных смесей и растворов по относительным ($\Delta Y = Y_{max}/Y_{min}$) и абсолютным ($\Delta Y = Y_{max} - Y_{min}$) показателям.

Прочность на сжатие. Относительное изменение $\delta R_{\text{сж}}$ под влиянием факторов состава и условий приготовления в виде столбчатых диаграмм представлена на рис. 1. Заштрихованная часть столбчатых диаграмм отображает максимальные значения $\delta R_{\text{сж}}$ под влиянием микронаполнителей ВЛ, ВМК и суперпластификатора С-3; не заштрихованная – под влиянием удельной поверхности макронаполнителей, тонкомолотых трепела или песка. Варьирование содержания ВЛ в исследуемом диапазоне $5 \pm 5\%$ изменяет $\delta R_{\text{сж}}$ на $10 \div 18\%$, ВМК при содержании $6 \pm 4\%$ – на $5 \div 17\%$. Совместное применение ВЛ и ВМК оказывает позитивное влияние на $R_{\text{сж}}$, повышая $\delta R_{\text{сж}}$ до 25% .

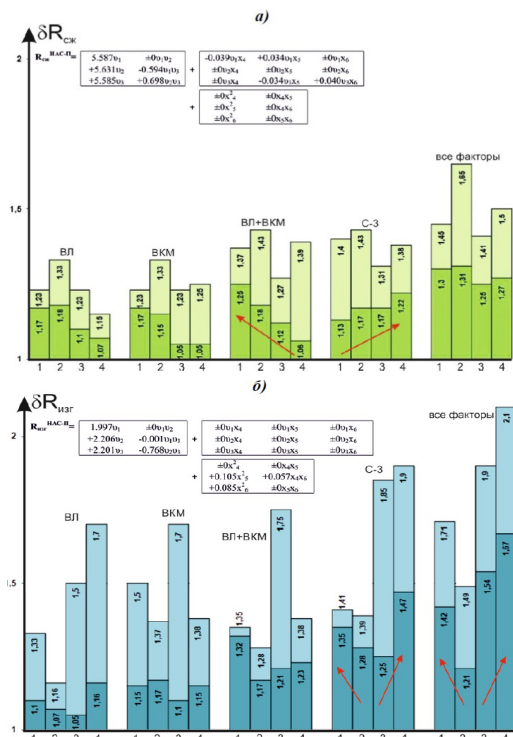


Рисунок 1. Изменение относительных значений $\delta R_{\text{сж}}$ (а) $\delta R_{\text{изг}}$ (б) под влиянием:
■, ■ - наполнителей ВЛ и ВМК, С-3 и способа приготовления смесей – 1, 2 НАС (традиционная технология), 3, 4 – АС (в скоростном смесителе-активаторе);
 - удельной поверхности тонкомолотого песка – 1,3 и трепела – 2,4

В качестве основания использовались разработанные оптимальные АС-П либо аналогичные АС-Т. За счет введения добавок ВМК и С-3 степень адгезии может быть увеличена с 0,2 до 0,4 МПа. Более существенное влияние на адгезию оказывает удельная поверхность молотого трепела при росте дозировки пластификатора. Максимальное значение адгезии, равное 1,1 МПа, получено при содержании ВЛ = 10 % и максимальных значениях ВМК и С-3 соответственно (рис. 2).

В продолжение натурного эксперимента испытывалась адгезия на основании гиперпластификатора Melflux с грунтом глубокого проникновения Ceresit и без него, между предполагаемым покрытием и основанием в следующих комбинациях: с молотым трепелом и песком, молотым песком и песком, молотым трепелом и трепелом (рис. 3).



Рисунок 3. Варианты адгезии между основанием и раствором с разными типами активных минеральных наполнителей

Таблица 1

Результаты адгезии $R_{сц}$ оптимальных составов на основе гиперпластификатора Melflux в различных вариантах сцепления с различными типами наполнителей (тонкомолотыми песком или трепелом)

Наименование состава	Результат $R_{сц}$, МПа	
	с грунтом	без грунта
Эталон	0,4 ÷ 0,5	0,5
НАСТ з НАСТ	1,3 ÷ 1,4	1,4 ÷ 1,6
НАСП з НАСП	1,4 ÷ 1,8	1,6 ÷ 1,9
НАСТ з НАСП	0,8 ÷ 0,9	1,1 ÷ 1,2

Как видно из таблицы 1, максимальное значение адгезии, равное 1,9 Мпа, получено при отрыве образца на основании НАСП от аналогичной по составу платформы НАСП, без использования грунта.

Микротвердость. Определение микротвердости по методу Бринелля производилось согласно ГОСТ 23677-79 на образцах, содержащих тонкомолотый трепел (рис. 4).

Предварительно, за 72 часа, шов между двумя исследуемыми образцами склеивался гидрофобной пропиткой или жидким стеклом.



Рисунок 4. Общий вид образцов на рабочей поверхности

Из табл. 2. видно, что проникающая гидроизоляция – праймер – оказывает положительный эффект на микротвердость материала, значительно укрепляя поверхность. Так, микротвердость околоконтактной зоны при нанесении пропитки толщиной в 1 мм составила $HB = 20,51$, что соответствует значениям HB особо твердых материалов, таких как конструкционная сталь, тогда как микротвердость испытанных образцов на расстоянии 30 и 20 мм от зоны контакта с пропиткой составила $HB = 18,87$ и 18 соответственно.

После проникновения в раствор (обычно на глубину до 10 мм) через многочисленные поры трепела и цементные поры гидроизоляция активно взаимодействует с его компонентами, такими как гидрат окиси и карбонат кальция (рис. 5). В результате образуются новые нерастворимые химические соединения, которые

увеличивают плотность поверхностного слоя. Они имеют кристаллическую структуру, поэтому обладают защитными свойствами, то есть начинают препятствовать проникновению влаги внутрь, создавая стабильный гидрофобный эффект.

Таблица 2

Сравнительные значения микротвердости с пропиткой и без нее

Нагрузка	Расстояние до шва с пропиткой	Диаметр вмятины	Микротвердость НВ
тах нагрузка = 2750 кгс.	30 мм	2,2 мм	18,00
тах нагрузка = 2750 кгс.	20 мм	2,0 мм	18,87
тах нагрузка = 2750 кгс.	2 мм	0,1 мм	20,51
тах нагрузка = 2750 кгс.	по шву	<0,1 мм	20,51

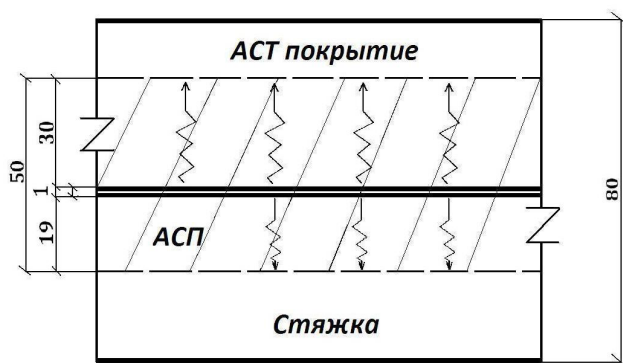


Рисунок 5. Микротвердость в зоне контакта стяжки с покрытием с применяемым праймером или жидким стеклом

Звукоизоляция. Степень звукоизоляции оценивалась по специальной методике с применением громкого динамика, спрятанного в многослойных, звукоограждающих конструкциях, перекрытием которых служил растворный образец. Степень звукоизоляции исследовалась на образцах с тонкомолотым трепелом или песком, эталонного образца, а также бруска древесины.

Исследуемый материал оценивался на степень изоляции от постоянного воздействия шума в 1000 Гц (1 кГц), который наиболее распространен в жилищных условиях. Эффективность

звукоизоляции оценивается индексом звукоизоляции воздушного шума R_w , чем выше R_w , тем выше звукоизоляция. Величина выражается в децибелах – **дБ**.

В настоящее время индекс изоляции воздушного шума для межэтажных перекрытий и стен между квартирами должен быть не менее $\Delta R_w = 62$ дБ согласно СНиП 23-03-2003. Только при этих показателях можно говорить про акустический комфорт. Результаты воздействий постоянного шума на образцы-балочки с различными исследуемыми составами 4х4х16 см приведены на диаграмме (рис. 6).

Как видно из диаграммы, наилучшей степенью звукоизоляции обладают растворные образцы с активированным трепелом, что объясняется суммарной пористостью самого трепела.

Меньшей степенью звукоизоляции обладают образцы с активированным песком, которые, однако, также соответствуют СНиП 23-03-2003.

Примечательно также, что брусок древесины той же толщины, что и образец исследуемого раствора, не обеспечивает должной звукоизоляции.

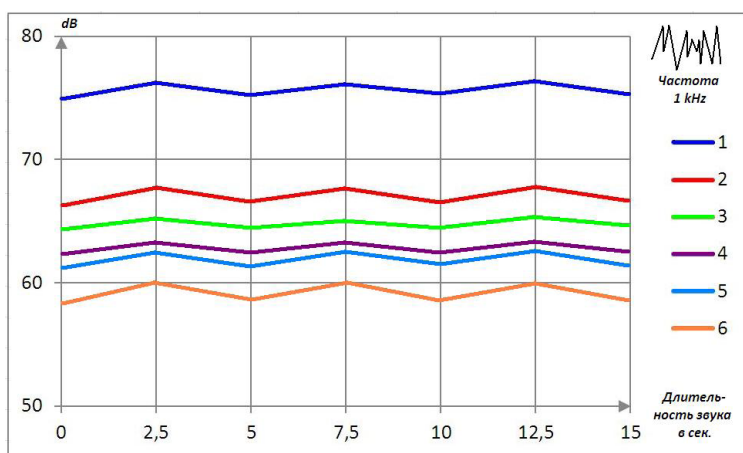


Рисунок 6. Степень звукоизоляции исследуемых образцов

1 – чистый, постоянный звук = 75–76 дБ; 2 – брусок древесины = 67–68 дБ; 3 – эталонный образец = 64–65 дБ; 4 – образец с активированным песком = 62–63 дБ; 5 – образец с неактивированным трепелом = 61–62 дБ; образец с активированным трепелом = 58–60 дБ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате реализации натурных экспериментов проанализированы закономерности влияния ПФМ на основе плотных и пористых наполнителей, которые содержат кремнезем разной природы, и суперпластификатора С-3 либо гиперпластификатора Melflux на физико-механические и строительно-эксплуатационные свойства четырех видов растворов, приготовленных двумя разными способами.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о преобладающем влиянии на процессы формирования структуры и свойства вида кремнеземистого наполнителя и технологических условий приготовления смесей. Трепел в процессе сорбционного поглощения жидкой дисперсионной среды может служить матрицей для формирования в открытых порах наноразмерных минералов гидросиликатов кальция, способствующих укреплению мелкозернистых растворов и бетонов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дворкин, Л. И. Проектування складів бетонів / Л. И. Дворкин, О. Л. Дворкин. – Рівне : НУВГП, 2015. – 353 с.
2. Симонов, М. З. Применение высокопрочных мелкозернистых бетонов бетонов для предварительно-напряженных конструкций / М. З. Симонов // Бетон и железобетон. – 1958. – № 5. – С. 58–59.
3. Батраков, В. Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика / В. Г. Батраков. – М. : Техно-проект, 1998. – 768 с.
4. Шинкевич, Е. С. Разработка энергоэффективных составов для омоноличивания конструкций / Е. С. Шинкевич, Е. С. Луцкин, А. А. Тертычный // Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць. – 2014. – Вип. 80. – С. 214–217.
5. Рунова, Р. Ф. Модифицированные бетоны для специального строительства / Р. Ф. Рунова, Г. Б. Гирштель, С. В. Глазкова, И. О. Кириченко // Будівельні конструкції : Міжвідомчий наук.-техн. зб. / ДНДІБК. – Київ, 2004. – Вип. 60 – С. 582–584.

6. Та Минь, Х. Мелкозернистый бетон с добавкой метаксаолина / Х. Та Минь // Строительные материалы, оборудование, технологи XXI века. – 2001. – № 11. – С. 13.
7. Бердов, Г. И. Влияние волластонита на механическую прочность цементного камня, изготовленного из портландцементного клинкера / Г. И. Бердов, Л. В. Ильина, М. А. Раков, Д. В. Орешкин // Вестник МГСУ. – 2013. – № 3. – С. 120–126.
8. Захаров, С. А. Высокоактивный метаксаолин – современный активный минеральный модификатор цементных систем / С. А. Захаров, Б. С. Калачик // Строительные материалы. – 2007. – № 5. – С. 56–57.
9. Шинкевич, Е. С. Экспериментально-статистическая оценка свойств активированных и неактивированных мелкозернистых смесей и бетонов / Е. С. Шинкевич, А.А.Тертычный,С.С.Закаблук,И.Н.Мироненко//Научный вестник строительства Харьковского национального университета строительства и архитектуры. – 2017. – Вып. 4. – С. 92–99.
10. ЭВМ и оптимизация композиционных материалов / В. А. Вознесенский [и др.]. – Киев : Будивельник, 1989. – 240 с.
11. Способ приготовления бетонной смеси. А.С. 176 17 31. ССР МКИ SU. 176 17 31 A1 C 04 И 40/00/ В. И. Соломатов, И. В. Барабаш, Е. С. Шинкевич, П. М. Пастер. – № 4896577/33: 1992 г. Bulletin № 34.

Статья поступила: 15.11.2019

REFERENCES

1. Dvorkin L. I., Dvorkin O. L. *Proektuvannya skladiv betoniv* [Concrete mix design]. Rivne: «NAHPP», 2015. 353 p. (ukr)
2. Simonov M. Z. *Concrete and reinforced concrete*. 1958. No. 5. pp. 58-59. (rus)
3. Batrakov V. G. *Modifitsirovannyye betony. Teoriya i praktika*. [Modified concretes. Theory and practice]. Moscow: «Techno-project», 1998. 768 p. (rus)

4. Shinkevych O. S., Lutskin E. S., Tertychny A. A. *Development of energy-efficient compositions for the omonalichivaniya structures*. 2014. No. 80. pp. 214-217. (rus)
5. Runova R. F. Girstel G. B., Glazkova S. V., Kirichenko I. O. *Budivelni konstruksii: Mizhvidomchyy naukovy-tekhnichny zbirnik. DNDIBK*. Kiev, 2004. Vol. 60. pp. 582-584. (rus)
6. Ta Minh H. *Construction materials, equipment, technologists of the XXI century*. 2001. No. 11. P. 13. (rus)
7. Berdov. G. I. Ilina L. V., Rakov M. A., Oreshkin D. V. *Vestnik MGSU*. 2013. No. 3. pp. 120–126. (rus)
8. Zakharov S. A., Kalachik B. S. *Construction materials*. 2007. No 5. Pp. 56–57. (rus)
9. Shinkevych O. S. Tertychnyi A. A., Zakabluk S. S., Mironenko I. N. *Naukovij visnik budivnictva Harkivskogo nacionalnogo universitetu budivnictva ta arhitekturi*. Vol. 4. 2017. pp. 92-99. (ukr)
10. Voznesenskiy V. A., Lyashenko T. V., Ivanov Ya. P. *EVM i optimizaciya kompozicionnyh materialov* [Computers and optimization of composite materials]. Kiev: Budivelnik, 1989. 240 p. (rus)
11. Solomatov V. I., Barabash I. V., Shinkevich E. S., Pasteur P. M. *Method of preparation of concrete mixture*. A.S. 176 17 31. SSR ICC SU. 176 17 31 A1 C 04 AND 40/00 / No. 4896577/33: 1992. Bulletin No. 34.

Received: 15.11.2019