

УДК 666.983

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.040719.67.465

ВПЛИВ ДИСКРЕТНИХ ВОЛОКОН (МІНЕРАЛЬНІ, ПОЛІМЕРНІ) НА РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ РОЗЧИНІВ НА ОСНОВІ МІНЕРАЛЬНИХ В'ЯЖУЧИХ

КОНДРАТЬЄВА Н. В.¹, к. т. н., доц.,

МОРОЗ Л. В.², к. т. н., доц.,

МОРОЗ В. Ю.^{3*}, аспір.

¹ Кафедра хімічної технології в'язучих матеріалів, Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет», пр. Гагаріна, 8, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: nataliyavk@yahoo.com, ORCID ID: 0000-0002-2537-4389

² Кафедра експлуатації гідромеліоративних систем та технології будівництва, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, 49000, Дніпро, Україна, e-mail: linysek-slv@i.ua, ORCID ID: 0000-0003-3150-7472

^{3*} Кафедра технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 46-93-76, e-mail: morozdnipro@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-2435-8050

Анотація. Постановка проблеми. Застосування як армувальних компонентів металевих і поліпропіленових волокон для виготовлення сумішей для облаштування елементів підлоги, що одержало останнім часом значне поширення, не сприяє зниженню собівартості таких сумішей. **Мета статті** – визначити вплив базальтового волокна на реологічні властивості цементно-піщаної суміші на основі мінеральних в'язучих. **Методика досліджень.** Базальтові волокна вводили в суху суміш, після чого суміш перемішували до максимально однорідного стану, з подальшим додаванням води. Як критерій рухомості розчинних сумішей для облаштування підлог застосовують два показники: рухливість і розтікання. **Основний матеріал.** Відповідно до розробленої матриці планування проведено низку експериментів. Після статистичної обробки результатів досліджень отримано рівняння регресії і побудовано діаграми взаємного впливу компонентів на властивості цементно-піщаного розчину. **Висновок.** Максимальної величини В/Ц досягає за максимального вмісту волокна 0,4 %. Чим менша довжина волокна, що вводиться, тим менший вплив діаметра волокна на В/Ц співвідношення цементно-піщаного розчину.

Ключові слова: розчини; волокна; властивості; реологія; дисперсне армування; вплив; цементно-піщана суміш

ВЛИЯНИЕ ДИСКРЕТНЫХ ВОЛОКОН (МИНЕРАЛЬНЫХ, ПОЛИМЕРНЫХ) НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ

КОНДРАТЬЕВА Н. В.¹, к. т. н., доц.,

МОРОЗ Л. В.², к. т. н., доц.,

МОРОЗ В. Ю.^{3*}, аспір.

¹ Кафедра химической технологии вяжущих материалов, Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет», пр. Гагарина, 8, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: nataliyavk@yahoo.com, ORCID ID: 0000-0002-2537-4389

² Кафедра эксплуатации гидромелиоративных систем и технологии строительства, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, ул. Сергея Ефремова, 25, Дніпро, Україна, e-mail: linysek-slv@i.ua, ORCID ID: 0000-0003-3150-7472

^{3*} Кафедра технологии строительных материалов, изделий и конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Придніпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 46-93-76, e-mail: morozdnipro@ukr.net, ORCID ID 0000-0003-2435-8050

Аннотация. Постановка проблемы. Применение в качестве армирующих компонентов – металлических и полипропиленовых волокон при изготовлении смесей для устройства элементов пола, получившее в последнее время широкое распространение, не способствует снижению себестоимости таких смесей. **Цель статьи** – определить влияние базальтового волокна на реологические свойства цементно-песчаной смеси на основе минеральных вяжущих. **Методика исследований.** Базальтовые волокна вводили в сухую смесь, после чего смесь перемешивали до максимально однородного состояния, с последующим добавлением воды. В качестве критерия подвижности растворных смесей для устройства полов применяют два показателя: подвижность и растекание. **Основной материал.** В соответствии с разработанной матрицей планирования проведен ряд экспериментов. После статистической обработки результатов исследований получены уравнения регрессии и

построены диаграммы взаимного влияния компонентов на свойства цементно-песчаного раствора. **Вывод.** Максимальной величины В / Ц достигает при максимальном содержании волокна 0,4 %. Чем меньше длина вводимого волокна, тем меньше влияние диаметра волокна на В / Ц соотношение цементно-песчаного раствора.

Ключевые слова: растворы; волокна; свойства; реология; дисперсное армирование; влияние; цементно-песчаная смесь

EFFECT OF DISCRETE FIBERS (MINERAL, POLYMERIC) ON THE RHEOLOGICAL PROPERTIES OF SOLUTIONS BASED ON MINERAL BINDERS

KONDRATIEVA N.V.¹, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*,
MOROZ L.V.², *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*,
MOROZ V.Yu.^{3*}, *Postgrad. Stud.*

¹ Department of Chemical Engineering of Binding Materials, State Higher Educational Institution "Ukrainian State University of Chemical Technology", 8, Naharina Ave., 49005, Dnipro, Ukraine, e-mail: nataliyavk@yahoo.com, ORCID ID: 0000-0002-2537-4389

² Department of Operation of Irrigation and Drainage Systems and Construction Technology, Dnipro State Agrarian-Economic University, 25, Serhiia Yefremova St., 49600, Dnipro, Ukraine, phone: +38 (0562) 713-51-37, e-mail: linysek-slv@i.ua, ORCID ID: 0000-0003-3150-7472

^{3*} Department of Technology of Building Materials, Products and Structures, State Higher Educational Institution "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernyshevskoho St., 49000, Dnipro, Ukraine, phone: +38 (0562) 46-93-76, e-mail: morozdnipro@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-2435-8050

Abstract. Problem statement. Application as reinforcing components – metal and polypropylene fibers in the manufacture of mixtures for the arrangement of floor elements, which has recently received widespread, does not contribute to reducing the cost of such mixtures. **The purpose of the article.** To determine the influence of basalt fiber on the rheological properties of cement-sand mixture based on mineral binders. **Methods of conducting research.** The introduction of basalt fibers was carried out in a dry mixture, after which the mixture was stirred to a maximum homogeneous state, followed by the addition of water. As a criterion for the mobility of soluble mixtures for the flooring, two indicators are used: mobility and spreading. Given the high mobility of the soluble mixtures data, vibration of molds with a mixture was not carried out. The laying of samples took place the next day after the formation. Samples were stored in a bath with a hydraulic shutter for 28 days. **The main material.** In accordance with the developed planning matrix, a number of experiments were conducted. After statistical processing of the results of the research, regression equations were obtained and diagrams of the mutual influence of the components on the properties of the cement-sand solution were constructed. Water-cement ratio characterizes the mobility of the solution, which in turn determines the scope of its application. The main factors that influence the water-cement ratio are: the content of the components in the mixture, the size of sand or its granulometric composition, the humidity of the filler, as well as the specific surface of the materials. **Conclusion.** The maximum value of water-cement ratio reaches a maximum fiber content of 0.4 %. The smaller the length of the introduced fiber, the less the effect of the diameter of the fiber on the water-cement ratio of the cement-sand solution. An increase in the length of the basalt fiber leads to a more sharp increase in the ratio of water-cement to the sand solution. A more sharp increase of the indexes of cement-sand solution, due to the increase in the diameter of the reinforcing component, is observed with a fiber content of more than 0.2 %.

Keywords: solutions; fibers; properties; rheology; disperse reinforcement; influence; cement-sand mixture

Постановка проблеми. Штучні кам'яні матеріали, у силу своїх особливостей, мають міцність на розрив за вигину практично на порядок нижчу міцності за стиску, а також характеризуються утворенням усадкових тріщин під час тверднення.

Дисперсне армування та зміцнення безперервними волокнистими арматурами змінює поведінку штучних каменів, надаючи їм підвищену стійкість до розтріскування, згину і розривного навантаження, дозволяє створити

необхідний запас міцності, зберігаючи цілісність конструкції, навіть після появи наскрізних тріщин.

Застосування як армувальних компонентів металевих і поліпропіленових волокон для виготовлення сумішей для облаштування елементів підлоги, що одержало останнім часом значне поширення, не сприяє зниженню собівартості таких сумішей. Це пов'язано з тим, що застосування поліпропіленового волокна постає додатковим засобом для

контролю за пластичним осіданням та усунення усадкових тріщин армованої суміші [7].

Поліпропіленове волокно через свої недоліки (деформацію за невеликих навантажень, розтягання, старіння і т. п.) може бути застосоване тільки як вторинне армування і не заміняє конструктивну арматуру, тим самим впливаючи лише на процес твердіння суміші, але не на всі властивості затверділого матеріалу [4; 8]. Використовувати металеву фібру для армування сухих будівельних сумішей досить важко через її конструктивні особливості [5].

Мета статті – визначити вплив базальтового волокна на реологічні властивості цементно-піщаної суміші на основі мінеральних в'язучих.

Методика досліджень. Базальтові волокна вводили в суху суміш, після чого суміш перемішували до максимально однорідного стану з подальшим додаванням води.

Як критерій рухливості розчинних сумішей для облаштування підлог застосовують два показники: рухливість і розтікання.

Рухливість (занурення стандартного конуса) визначають для сумішей, які застосовують під час облаштування стяжки підлоги.

Розтікання – для сумішей, які застосовують під час облаштування покриттів і прошарків підлоги. У разі застосування для облаштування елементів підлоги цементно-піщаних, гіпсових розчинів, дисперсно-армованих волокнами, визначити рухливість суміші зануренням стандартного конуса досить важко. Така методика може давати значну похибку в результатах досліджень. Тому рухливість розчинної суміші визначалася по величині розтікання [2].

Для визначення стандартної – контрольної величини розтікання спочатку обчислили величину рухливості цементно-піщаного розчину, не армованого дискретними волокнами [3]. Після чого

рухливість привели до величини розтікання і взяли за контрольну.

З огляду на високу рухливість цих розчинних сумішей, вібрування форм із сумішшю не проводилось. Розпалубка зразків здійснювалася на наступну добу після формування. Зразки зберігалися у ванні з гідравлічним затвором протягом 28 діб.

Основний матеріал. Відповідно до розробленої матриці планування проведено низку експериментів. Для кожного складу суміші визначено показники основних властивостей розчинних сумішей: В/Ц співвідношення, міцність за вигину та міцність за стиску у віці 3 і 28 діб.

Отримані результати випробувань складів сумішей наведені в таблиці. Після статистичної обробки результатів досліджень отримано рівняння регресії і побудовано діаграми взаємного впливу компонентів на властивості цементно-піщаного розчину (рис.).

Рівняння регресії водоцементного співвідношення має вигляд:

$$\begin{aligned} \text{В/Ц} = & 0,888 - 0,0069 X_1 + 0,0244 X_2 - \\ & - 0,056 X_3 + 0,0069 X_4 + 0,11 X_1 X_2 - \\ & - 0,0031 X_1 X_3 + 0,00188 X_1 X_4 + 0,0031 X_2 X_3 \\ & + 0,0244 X_2 X_4 + 0,011 X_3 X_4 + 0,101 X_2 X_1 X_4 + \\ & + 0,103 X_1 X_2 X_3 - 0,00062 X_2 X_3 X_4 + \\ & + 0,1044 X_1 X_2 X_3 X_4 \end{aligned}$$

Діаграма впливу довжини і діаметра, а також вмісту базальтового волокна і вмісту цементу в суміші на В/Ц співвідношення показано на рисунку.

Співвідношення В/Ц характеризує рухливість розчину, що, у свою чергу, визначає сферу його застосування. Основні фактори, які впливають на показник В/Ц співвідношення, такі: вміст компонентів у суміші, модуль крупності піску або його гранулометричний склад, вологість заповнювача, а також питома поверхня матеріалів. Сухі будівельні суміші на основі мінеральних в'язучих, після додавання води або інших замішувачів, являють собою складні багатокомпонентні системи, що складаються із дрібнозернистих часток

в'язучого, заповнювача, води, залученого повітря та добавок.

Якість розчинів, технологія нанесення розчинної суміші багато в чому залежать від властивостей складових і структури суміші, що визначають наявність сил молекулярного зчеплення в'язкого і сухого тертя, капілярних сил та інших властивостей, що надають зв'язності суміші та визначальних згодом фізико-механічних і хімічних властивостей затверділого розчину.

Розчини являють собою мезоструктуру двокомпонентної системи, що складається із цементного тіста і заповнювача [1; 6] і займають проміжне положення між грузлими рідинами і твердими тілами.

Вміст частинок заповнювача значно впливає на в'язкість системи. У разі збільшення вмісту заповнювача частинки стикаються і перекривають одна одну, у результаті в'язкість системи збільшується і тоді консистенція розчину залежить від насичення його твердою фазою.

Таблиця

Результати випробування складів сумішей «розчин + базальтове волокно» /
Results of the test of compound compositions "solution + basalt fiber"

| № | В/Ц | R _{виг.} , МПа | | R _{ст.} , МПа | |
|----|------|-------------------------|--------|------------------------|--------|
| | | 3 діб | 28 діб | 3 діб | 28 діб |
| 1 | 0,89 | 1,9 | 4,6 | 5,9 | 18,5 |
| 2 | 0,82 | 2,1 | 3,15 | 4,65 | 15,1 |
| 3 | 0,82 | 1,53 | 3,96 | 3,7 | 10,3 |
| 4 | 0,9 | 1,3 | 3,75 | 2,57 | 10,8 |
| 5 | 0,93 | 1,03 | 3,02 | 2,5 | 9,8 |
| 6 | 0,93 | 1,2 | 3,3 | 2,2 | 9,5 |
| 7 | 0,87 | 2,5 | 3,2 | 7,2 | 9,7 |
| 8 | 0,95 | 0,8 | 3,45 | 2,1 | 9,2 |
| 9 | 0,82 | 3,5 | 2,9 | 10,3 | 9,2 |
| 10 | 0,98 | 1,5 | 2,8 | 3,23 | 7,4 |
| 11 | 0,98 | 1,2 | 3,4 | 2,8 | 9,9 |
| 12 | 0,76 | 3,5 | 3,46 | 11,7 | 14,1 |
| 13 | 0,86 | 2,75 | 3,1 | 8,5 | 14,4 |
| 14 | 0,95 | 1,6 | 3,1 | 3,2 | 10,7 |
| 15 | 0,93 | 0,9 | 2,7 | 2,9 | 8,9 |
| 16 | 0,82 | 3,1 | 3,2 | 9,5 | 14,8 |

У розчині мінеральне в'язуче у вигляді тіста покриває поверхню заповнювача і тоді зрушення системи відбувається через прошарки між зернами, товщина яких визначається розміром заповнювача і шаром цементної пасти. Зі збільшенням В/Ц в'язкість розчину зменшується за рахунок збільшення товщини шару між зернами матеріалу, що викликає зниження тертя між шарами.

Розглядаючи двофазну систему «цементна паста – заповнювач», можна констатувати, що параметри заповнювача впливають на вміст цементної пасти і відповідно В/Ц співвідношення розчину. Нестача в'язучого у певних умовах збільшує в'язкість і знижує міцність затверділої системи. Збільшення кількості

в'язучого відповідно підвищує В/Ц співвідношення та міцнісні характеристики, але до певної межі.

Для піщаних сумішей теоретично потрібне максимально щільне пакування зерен заповнювача і мінімальна кількість пасти для обволікання зерен піску і надалі їх міцного з'єднання в єдиний каркас. Пластичність при цьому залежить від форми і поверхні зерен. Пластична деформація системи можлива завдяки зрушенню рідкого середовища.

Напруга зрушення τ , за швидкості деформації v буде пропорційна відносній відстані між твердими частками:

$$\tau = h / h_0, \quad (1)$$

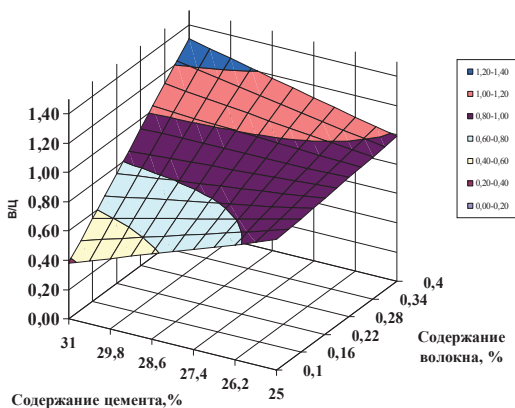
де h – товщина прошарку; h_0 – товщина контактного шару.

Отже, співвідношення обсягу твердої і рідкої фази визначає ступінь в'язкості розчину і відповідно В/Ц відношення.

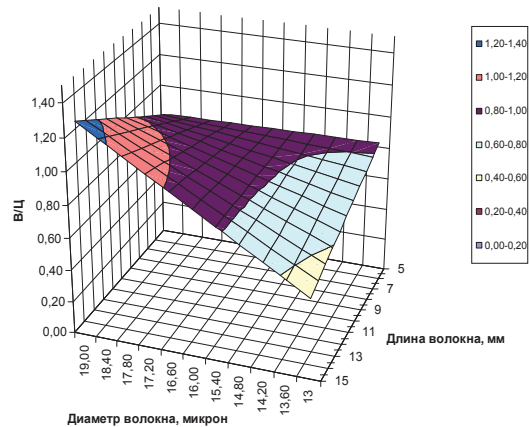
Напряга зрушення може бути представлена реологічним рівнянням ньютонівської рідини:

$$\tau = \eta \frac{du}{dr}, \quad (2)$$

де τ – напруга зрушення; du/dr – градієнт швидкості по перетину потоку.



а



б (b)

Рис. Залежність В/Ц співвідношення розчину суміші від вмісту цементу і вмісту базальтового волокна (а), довжини і діаметра (б) базальтового волокна. / Fig. The dependence of the water–cement ratio of the mixture solution on the content of the cement and the content of the basalt fiber (a), the length and diameter (b) of the basalt fiber

Уведення волокон викликає збільшення деформації напруги, відповідно в'язкості, тому для посилення пластичності потрібне підвищення В/Ц співвідношення.

Структура суміші, дисперсно-армованої волокнами, являє собою двофазну систему «рідка + тверда фаза». Але систему можна розглядати, як двофазну тільки у випадку, якщо довжина волокон не перевищує 1,5...2 діаметра заповнювача. Подальше збільшення довжини волокон переводить систему в трифазну, тобто суміш за своїми властивостями подібна бетонним [1; 6]. Таким чином, залежність в'язкості розчину можна розглядати як функцію параметрів волокон:

$$\eta = f(l, d, \mu), \quad (3)$$

де l – довжина волокна; d – діаметр волокна; μ – вміст волокна.

Якщо розглядати різні типи волокон, то варто було б урахувати також і модуль пружності ϵ .

Розглядаючи результати досліджень спробуємо встановити вплив таких

факторів: вміст в'язучого, кількість волокон, їх довжина й діаметр на вихідні параметри: В/Ц співвідношення розчину, міцність за вигину й міцність за стиску.

Вихідний параметр – В/Ц як фактор рухливості розчинної суміші, що забезпечує необхідну легковкладальність.

Зміна В/Ц буде істотно впливати на міцність та експлуатаційні характеристики цементно-піщаного розчину. Аналіз діаграми (рис.) показав, що збільшення кількості базальтового волокна з 0,1 до 0,4 % у розчинній суміші викликає збільшення співвідношення В/Ц або посилення в'язкості суміші.

Вплив кількості дискретних волокон на в'язкість розчину підвищується за вмісту цементу понад 28 %. Ймовірно, це пов'язано зі збільшенням питомої поверхні сухої суміші, а також із тим, що суміш насичується більш інтенсивно твердою фазою.

Висновок. Максимальної величини співвідношення В/Ц досягає за максимального вмісту волокна 0,4 %.

Інтенсивний приріст із В/Ц у разі збільшення вмісту в суміші базальтового волокна довжиною понад 9 мм свідчить про те, що система із двофазної переходить у трифазну в межах 6...9 мм для даного діаметра. Тобто волокна начебто утворюють свій шар. Слід також зазначити, що за вмісту волокна менше 0,25 % зміна його довжини незначно впливає на В/Ц.

Подальше насичення розчину волокнами сприяє підвищенню в'язкості і, відповідно, для збереження рухливості розчину потрібне збільшення кількості рідкої фази, а це викликає підвищення співвідношення В/Ц. Збільшення довжини базальтового волокна спричинює більш

різке збільшення В/Ц співвідношення цементно-піщаного розчину, за діаметру волокна понад 16 мікронів, у зв'язку зі збільшенням жорсткості волокон, що викликає зростання сил тертя між часточками матеріалу, а також збільшується тертя між шарами розчину.

Більш різкий приріст показників В/Ц, внаслідок збільшення діаметра армувального компонента, спостерігається за вмісту волокна понад 0,2 %. Чим менша довжина волокна, що вводиться, тим менший вплив його діаметра на В/Ц співвідношення цементно-піщаного розчину.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Волженский А. В. Структурная пористость и теплофизические показатели неавтоклавного микропорита / А. В. Волженский, И. И. Бабкина // Строительные материалы . – 1983. – № 11. – С. 13–18.
2. ДСТУ П Б. В. 2.7 – 126:2011 «Суміші будівельні сухі модифіковані. Загальні технічні умови». – Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. – 59 с. – Режим доступу : http://ksv.do.am/GOST/DSTY_ALL/DSTU1/dstu_b_v.2.7-126-2011.pdf
3. ДСТУ Б В.2.7-239:2010 «Розчини будівельні. Методи випробувань». – Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. – 38 с. – Режим доступу : http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=26750
4. Лаукайтис А. А. Прогнозирование некоторых свойств ячеистого бетона низкой плотности / А. А. Лаукайтис // Строительные материалы. – 2001. – № 4. – С. 27–29.
5. Современное производство ячеистых бетонов и их применение в строительстве : обзорная информация / [В. В. Макаричев, Г. В. Краснова, М. Я. Кривичкий]. – Сер. 8. – Вып. 3. – Москва : ВНИИЭСМ, 1981. – 38 с.
6. Моргун Л. В. Эффективность применения фибропенобетона в современном строительстве / Л. В. Моргун // Строительные материалы. – 2002. – № 3. – С. 16–17.
7. Удачкин И. Б. Ключевые проблемы развития производства пенобетона / И. Б. Удачкин // Строительные материалы. – 2002. – № 23. – С. 8–9.
8. Удовенко Р. П. Проблемы энергосбережения в Украине / Р. П. Удовенко // Будівництво України. – 1997. – № 1. – С. 26–28.

REFERENCES

1. Volzhenskij A.V. and Babkina I.I. *Strukturnaja poristost' i teplofizicheskie pokazateli neavtoklavnogo mikroporita* [Structural porosity and thermophysical indicators of non-autoclaved microporite]. *Stroitel'nye materialy* [Building materials]. 1983, vol. 11, pp. 13–18. (in Russian).
2. *DSTU P B. V. 2.7 – 126:2011. Sumishi budivel'ni suhi modifikovani. Zagal'ni tehnicni umovi* [Construction dry mixes modified. General technical conditions]. Kyiv: Minregionbud Ukraine, 2011, 59 p. (in Ukrainian).
3. *DSTU B V.2.7-239:2010. Rozchini budivel'ni. Metodi viprobuvan* [Building solutions. Test methods]. Kyiv : Minregionbud Ukraine, 2010, 38 p. (in Ukrainian).
4. Laukajtis A.A. *Prognozirovanie nekotoryh svojstv jacheistogo betona nizkoj plotnosti* [Prediction of some properties of low density cellular concrete] *Stroitel'nye materialy* [Building materials]. 2001, no. 4, pp. 27–29. (in Russian).
5. Makarichev V.V., Krasnova G.V. and Krivickij M.Ja. *Sovremennoe proizvodstvo jacheistyh betonov i ih primenenie v stroitel'stve : obzor. inform.* [Modern production of cellular concretes and their application in construction: overview information]. Moscow : VNIIESM, 1981, ser. 8, vol. 3, 38 p. (in Russian).
6. Morgun L.V. *Effektivnost' primeneniya fibropenobetona v sovremennom stroitel'stve* [The effectiveness of fibropenobetona in modern construction] *Stroitel'nye materialy* [Building materials]. 2002, vol. 3, pp. 16–17. (in Russian).
7. Udachkin I.B. *Kljuchevye problemy razvitija proizvodstva penobetona* [Key problems in the development of foam concrete production]. *Stroitel'nye materialy* [Building materials]. 2002, vol. 23, pp. 8–9. (in Russian).
8. Udovenko R.P. *Problemy jenergosberezhenija v Ukraine* [Problems of energy saving in Ukraine]. *Budivnictvo Ukraini* [Construction of Ukraine]. 1997, vol. 1, pp. 26–28. (in Russian).

Надійшла до редакції: 02.05.2019 р.