

**Список литературы:** 1. Пат. 74444 Украины, МПК В28С5/14. Змішувач для приготування будівельної суміші / *Емельянова И.А., Баранов А.Н., Блажко В.В., Тугай В.В.*; заявник та патентовласник ХДТУСА. – опубл. 15.12.05, Бюл. 12. 2. *Емельянова И.А.* Особенности рабочего процесса принудительно-гравитационного бетоносмесителя / *И.А. Емельянова, В.В. Блажко, А.И. Анищенко* // Научный вестник строительства. – 2009. – Вып. 54. – С. 317 – 325.

*Поступила в редколлегию 25.07.11*

УДК 666.9

*А.А. ПЛУГИН*, докт. техн. наук, проф., УГАЖТ, Харьков,  
*М.Г. САЛИЯ*, аспирант, ХГТУСА, Харьков,  
*Т.А. КОСТЮК*, канд. техн. наук, доц., ХГТУСА, Харьков

## **ИЗОТРОПНОЕ МИКРОАРМИРОВАНИЕ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ ПРОДУКТАМИ ГИДРАТАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ**

Досліджено вплив комплексної органомінеральної добавки, що включає тонкодисперсний кальцит і скловолокно, на властивості цементного каменю гідроізоляційних сухих сумішей.

Исследовано влияние комплексной органоминеральной добавки, включающей тонкодисперсный кальцит и стекловолокно, на свойства цементного камня гидроизоляционных сухих смесей.

The influence of complex organomineral supplements, including fine-grained calcite and glass on the properties of cement waterproofing dry mixes.

В настоящее время для гидроизоляции широко применяются сухие смеси на основе портландцемента. Несмотря на применение водоредуцирующих добавок, их недостатком является склонность к усадке при твердении, приводящей к образованию микротрещин и снижению водонепроницаемости. Одним из традиционных путей снижения усадки таких составов является введение глиноземистого клинкера, гипса или других компонентов, обеспечивающих расширение цементного камня [1, 2]. Однако этим процессом трудно управлять, а цементный камень впоследствии может подвергнуться деструкции вследствие перекристаллизации гидросульфатоалюминатов и т.п.

Цель работы – теоретическое и экспериментальное обоснование повы-

шения водонепроницаемости цементного камня без введения глиноземистого клинкера и т.п.

Выполнен анализ литературных данных по исследуемой проблеме. Установлено, что широкие возможности для управления физико-механическими и гидрофизическими свойствами цементного камня открывает применение минеральных добавок, основывающееся на анализе его структуры как «микробетона Юнга» [1, 3].

В [4] установлено, что цементный камень портландцемента с добавками карбонатных пород по показателям прочности, коррозионной стойкости, морозостойкости не уступает бездобавочному портландцементу. Отмечается также, что вместо  $C_3AH_6$  образуются  $C_4AH_x$  и гидрокарбоалюминат кальция  $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaCO_3 \cdot 11H_2O$  – гексагональные пластинчатые кристаллы, образующие прочно сросшиеся агрегаты в виде плотных войлочных скоплений с отчетливой щетинообразной зоной на поверхности карбонатных частиц. Однако в [4] лишь констатируются соединения и их морфология, природа же контактов и взаимодействий между элементами структуры не анализируется.

Физико-механические свойства материалов на основе портландцемента, особенно прочности на изгиб и растяжение, износостойкости повышают также введением волокнистых компонентов – асбеста, стекловолокна, стальной или полипропиленовой фибры [1; 2 и др.].

В [5, 6] показано, что важная роль в формировании свойств цементного камня принадлежит электроповерхностным свойствам его составляющих и взаимодействиям между ними. Так, в [7] установлено, что в смеси из перлитового песка, портландцемента и комплексной добавки в порах перлита, обладающего отрицательным поверхностным зарядом, образуются кристаллы гидроалюминатов кальция с положительным поверхностным зарядом. В [8] на основе учета электроповерхностных взаимодействий было достигнуто повышение прочности и снижение усадки цементного камня за счет введения комплексной добавки, включающей дисперсный кальцит.

Выдвинута гипотеза о повышении физико-механических свойств, в т.ч. водонепроницаемости цементного камня за счет введения комплексной добавки, включающей дисперсный кальцит, стекловолокно и ускорители твердения – хлорид и нитрат кальция  $CaCl_2$  и  $Ca(NO_3)_2$ . Стекловолокно, являясь подложкой для образования продуктов гидратации, обеспечит своеобразное изотропное микроармирование цементного камня их пространственной структурой, насыщенной электрогетерогенными контактами (рис. 1), что

обеспечит повышение прочности на растяжение и предотвращение усадки даже при растворении стекловолокна в щелочной среде цементного камня.

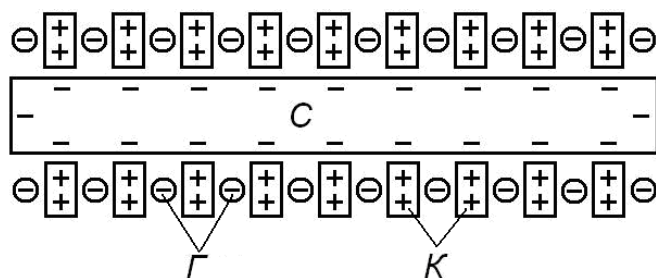


Рис. 1. Предполагаемая структура продуктов гидратации цемента вокруг стекловолокна:

С – стекловолокно; К – кристаллогидраты портландита, гидроалюминатов и гидросульфалюминатов кальция; Г – частицы гидросиликатного геля

Результаты исследований. Поверхностный заряд стекловолокна определен исходя из его среднего стехиометрического состава  $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{CaO}\cdot 6\text{SiO}_2$  [1] и электроповерхностных потенциалов оксидов [5] по методике [5]:

- абсолютный электроповерхностный потенциал:

$$\psi_{\text{эн}}^0 = (2,207 + 1,37 + 6 \times 0,56) / 8 = +0,217 \text{ В};$$

- равновесный электроповерхностный потенциал при  $\text{pH} = 12$  (порового электролита цементного камня):

$$\psi_{\text{эн}}^p = \psi_{\text{эн}}^0 - 0,059 \text{pH} = 0,217 - 0,059 \times 12 = -0,499 \text{ В},$$

где 2,207; 1,37; 0,56 – абсолютные электроповерхностные потенциалы  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$  и  $\text{SiO}_2$ , соответственно.

Таким образом, в среде цементного камня стекловолокно обладает отрицательным поверхностным потенциалом  $\psi_{\text{эн}}^p = -0,499 \text{ В}$  зарядом и может быть подложкой для кристаллизации продуктов гидратации с положительным поверхностным зарядом, что соответствует схеме на рис. 1.

Проведены электронно-микроскопические исследования сколов цементного камня добавкой стекловолокна и комплексной добавкой дисперсного кальцита, стекловолокна,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  и  $\text{CaCl}_2$  с помощью сканирующего электронного микроскопа. Результаты исследований представлены на рис. 2 ÷ 4.

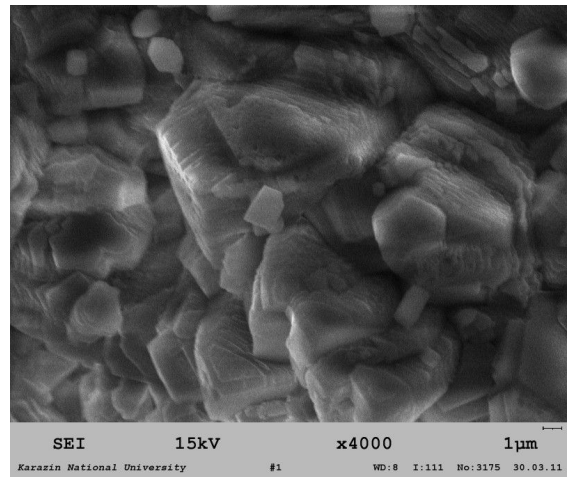
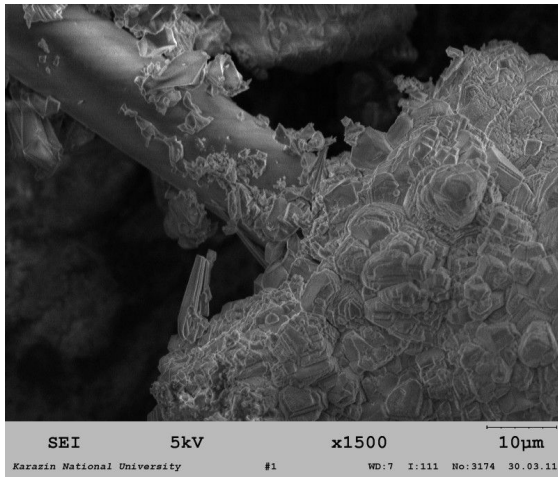


Рис. 2. Электронно-микроскопические снимки сколов цементного камня с добавкой стекловолокна на 28 сутки твердения

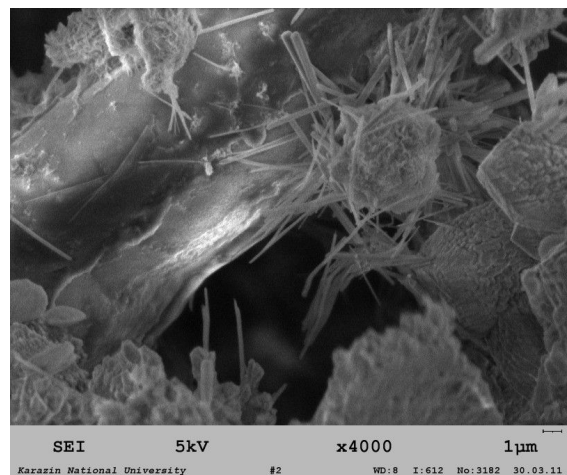
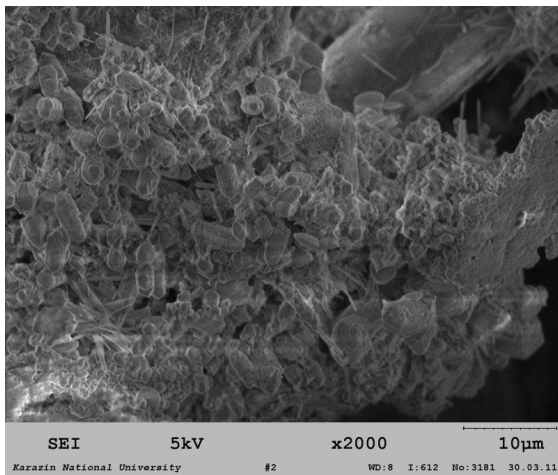


Рис. 3. Электронно-микроскопические снимки сколов цементного камня с комплексной добавкой дисперсного кальцита, стекловолокна,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  и  $\text{CaCl}_2$  на 7 сутки твердения.

На рис. 2 приведены электронно-микроскопические снимки (ЭМС) цементного камня с добавкой только стекловолокна на 28 сутки твердения. Из рис. 2 видно, что стекловолокно (диаметр волокон до 10 мкм) обросло продуктами гидратации – преимущественно гексагональными пластинчатыми кристаллами размером до 5 мкм, характерными для портландита.

На рис. 3 представлены ЭМС цементного камня с комплексной добавкой дисперсного кальцита, стекловолокна,  $\text{CaCl}_2$  и  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  на 7 сутки твердения. Из рис. 3 видно, что стекловолокно обросло продуктами гидратации, в составе которых имеются иглообразные кристаллы длиной до 5 мкм, характерные для этtringита, гидрокарбоалюминатов, гидрохлоралюминатов кальция, а на поверхности стекловолокна наблюдаются следы эрозии.

На рис. 4 приведены ЭМС того же цементного камня на 14 сутки твердения. Из рис. 4 видно, что стекловолокно обросло продуктами гидратации – гексагональными (характерными для портландита, гидромоносульфоалюмината кальция) и кубическими (характерными для гидроалюмината кальция) кристаллами размером до 2 мкм.

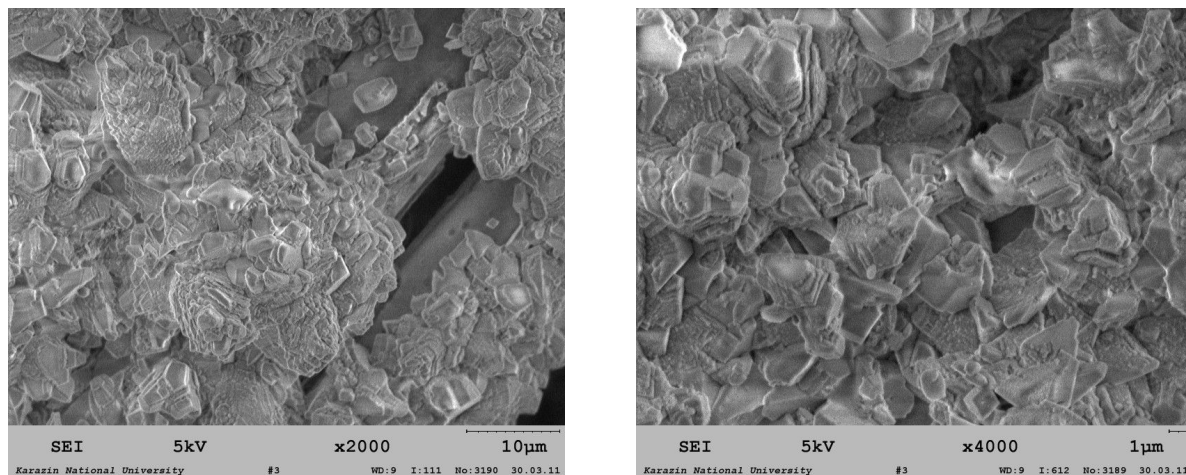


Рис. 4. Электронно-микроскопические снимки сколов цементного камня с комплексной добавкой дисперсного кальцита, стекловолокна,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  и  $\text{CaCl}_2$  на 14 сутки твердения.

На рис. 5 представлены ЭМС того же цементного камня на 28 сутки твердения.

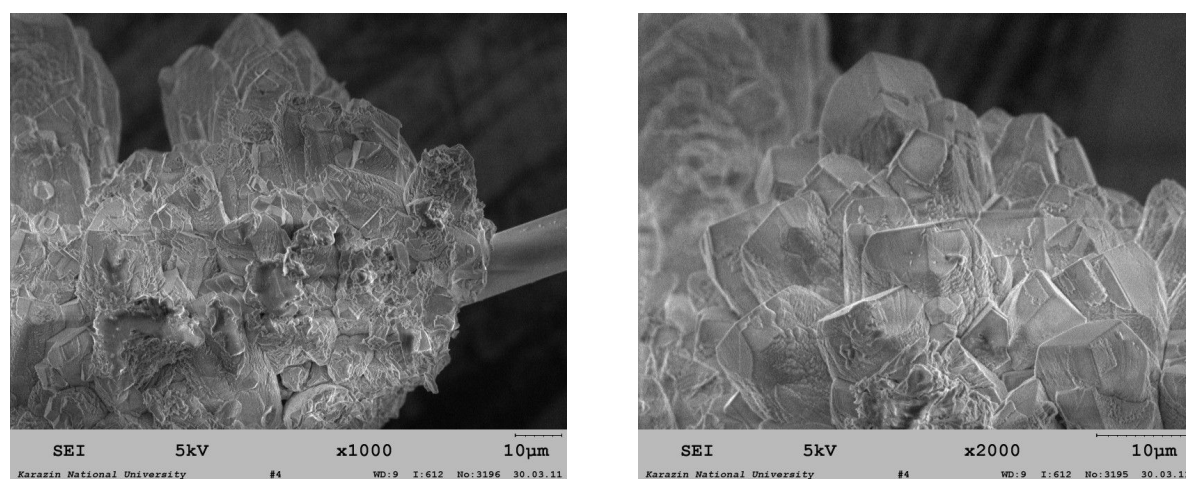


Рис. 5. Электронно-микроскопические снимки сколов цементного камня с комплексной добавкой дисперсного кальцита, стекловолокна,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  и  $\text{CaCl}_2$  на 28 сутки твердения

Из рис. 5 видно, что стекловолокно обросло продуктами гидратации, среди которых наблюдаются преимущественно гексагональные (характерны

для портландита, гидромосульфалюмината кальция) и кубические (гидроалюмината кальция) кристаллы размером до 10 мкм.

На большинстве приведенных снимков между кристаллами просматриваются мелкие частицы и агрегаты гидросиликатного геля, обладающего отрицательным поверхностным зарядом.

Таким образом, электронно-микроскопические снимки соответствуют схеме рис. 1.

Были исследованы зависимости прочности на сжатие и изгиб, марки по водонепроницаемости мелкозернистого бетона с комплексной добавкой дисперсного кальцита, стекловолокна,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  и  $\text{CaCl}_2$  от содержания кальцита и стекловолокна. Результаты исследования представлены на рис. 6.

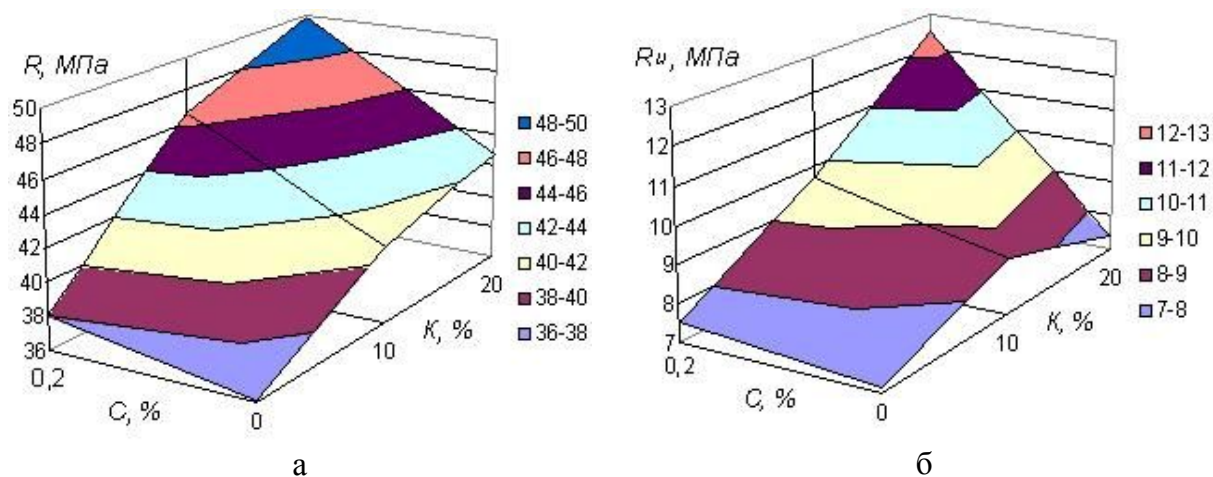


Рис. 6. Зависимость прочности на сжатие R (а) и изгиб  $R_{и}$  (б) мелкозернистого бетона от содержания дисперсного кальцита K, % от массы цемента и стекловолокна C, % от массы цемента.

### Выводы:

1. Установлено, что в среде цементного камня стекловолокно обладает отрицательным поверхностным зарядом и является подложкой для кристаллизации продуктов гидратации с положительным поверхностным зарядом – портландита, гидроалюминатов, гидросульфалюминатов кальция, а при введении добавок кальцита и хлоридов – гидрокарбоалюминатов, гидрохлоралюминатов кальция. Это обеспечивает своеобразное изотропное микроармирование цементного камня плотной пространственной структурой, насыщенной электрогетерогенными контактами между кристаллогидратами и частицами гидросиликатного геля даже при растворении стекловолокна в щелочной среде цементного камня.

2. Установлено, что совместное введение кальцита и стекловолокна обеспечивает увеличение прочности мелкозернистого бетона на сжатие на 38 %, прочности при изгибе – на 76 %, марки по водонепроницаемости – до W10.

Список литературы: **1.** Горчаков Г.И. Строительные материалы / Г.И. Горчаков, Ю.М. Баженов. – М.: Стройиздат, 1986. – 688 с. **2.** Кривенко П.В. Строительное материаловедение / [П.В. Кривенко, Е.К. Пушкарева, В.Б. Барановский и др.]. – К.: Основа, 2007. – 704 с. **3.** Юнг В.Н. Основы технологии вяжущих веществ / В.Н. Юнг. – М.: Промстройиздат, 1951. – 355 с. **4.** Тимашев В.В. Свойства цементов с карбонатными добавками / В.В. Тимашев, В.М. Колбасов // Цемент. – 1981. – № 10. – С. 10 – 12. **5.** Плугин А.Н. Электрогетерогенные взаимодействия при твердении цементных вяжущих: дисс. ... доктора хим. наук: 02.00.01 / А.Н. Плугин. – К., 1989. – 282 с. **6.** Плугін А.А. Управління міцністю дрібнозернистого бетону одразу після формування на основі урахування електроповерхневих властивостей його складових / А.А. Плугін, Т.О. Костюк, В.І. Бабушкін // Науковий вісник будівництва. – 1999. – Вип. 7. – С. 63 – 67. **7.** Бондаренко Д.А. Суха будівельна суміш для отримання теплоізоляційних матеріалів зниженої паро проникності: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.23.05. / Д.А. Бондаренко. – Х., 2010. – 20 с. **8.** Плугин А.А. Применение карбонатных добавок в цементных составах для гидроизоляционных и реставрационных работ зданий и сооружений / [А.А. Плугин, Т.А. Костюк, М.Г. Салия и др.] // Сб. научн. тр. Института строительства и архитектуры. – М.: МГСУ, 2011. – Разд. 7. – С. 224 – 227.

*Поступила в редколлегию 25.07.11*