

УДК 691.3

Т.А. Костюк, А.И. Бондаренко, В.А. Арутюнов, А.В. Рачковский

*Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, Харьков*

## ЦЕМЕНТНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ И РЕМОНТА

*Исследованы физико-химические свойства нетрадиционных видов микрофибры как компонентов мелкозернистых бетонов с целью оптимизации их эксплуатационных свойств и улучшения экологической среды отдельных населённых пунктов и регионов путём утилизации больших объёмов промышленных отходов. Исследовано влияние комплексных химических добавок с полиэфирными волокнами на эксплуатационные свойства – трещиностойкость и капиллярную пористость цементных бетонов.*

**Ключевые слова:** фибробетон, полиэфирное волокно, стеклянное волокно, полипропиленовое волокно, композиционный материал, гидроизоляция, стержневая арматура, промышленные отходы, окружающая среда, фибробетонные смеси.

### Введение

Перспективным направлением в строительной индустрии является применение фибробетона различного назначения. Дисперсное армирование позволяет в большой степени компенсировать главные недостатки бетона – низкую прочность при растяжении и хрупкость. Фибробетон имеет высокую прочность при растяжении, трещиностойкость, морозостойкость, водонепроницаемость, жаропрочность и высокие огнеупорные свойства. Это обеспечивает его высокую технико-экономическую эффективность при применении в строительных конструкциях [1, 2].

Свойства фибробетона как композиционного материала определяются свойствами составляющих его компонентов. В качестве основного компонента используется фибра (стальная, минеральная, из органических и полимерных материалов). Экспериментальные исследования физико-механических свойств фибробетонов и их практическое использование позволили выявить эффективную номенклатуру изделий из них:

– монолитные конструкции и сооружения – промышленные полы, емкости для воды и других жидкостей, пространственные покрытия и сооружения, наносимые методом торкретирования на надувные опалубки (сводчатые и арочные конструкции), а также ремонтные составы;

– сборные элементы и конструкции – железно-дорожные шпалы, трубопроводы, склепы, балки, ступени, стеновые панели, кровельные панели и черепица, модули плавающих доков, морские сооружения, взрыво- и взломоустойчивые конструкции, плиты тротуарных покрытий и креплений каналов, карнизные элементы мостов, малые архитектурные формы [3, 4].

Практически все вышеуказанные конструкции из фибробетона широко применяются за рубежом, имеет-

ся положительный опыт их эффективного использования и в отечественном строительстве. Конструкции могут изготавливаться как с фибровым, так и с комбинированным армированием, то есть, в сочетании фибры и стержневой или проволочной арматуры. Достижимое фибровым армированием увеличение отношения пределов прочности при растяжении и сжатии ( $R_{bt}/R_c$ ) представляет собой средство повышения эффективности бетона как конструкционного материала. Учитывая довольно высокую стоимость волокон, этот показатель определяет эффективность фибробетонов по сравнению с другими видами армированных бетонов. Установлено требуемое достижение величины  $R_{bt}/R_c = 0,5 - 0,6$ . Практически такое соотношение прочностей возможно только при дисперсном фибровом армировании бетона-матрицы [5 – 7].

**Цель работы.** Целью настоящей работы является исследование возможности получения гидроизоляционных составов интегрально-капиллярного действия на цементной основе с повышенным содержанием полиэфирного волокна.

Интегральные свойства фибробетона, как и любого композита, обуславливаются свойствами его компонентов (фибры и бетона-матрицы), а также степенью их совместной работы. В фибробетоне такая работа обеспечивается за счет сцепления и анкеровки фибры в бетоне.

**Методы и материалы.** На кафедре строительных материалов и изделий ХНУСА разработана новая перспективная серия композиционных материалов на цементной основе, соответствующая уровню мировых стандартов и основанная на применении комплексного модификатора для бетона в виде порошка на минеральной основе, включающей суперпластификатор и комплекс солей электролитов, а также микрофибру стеклянную и полимерную [8 – 10]. Для обеспечения высоких эксплуатационных характеристик и долговечности необходимо было выполнить следующие

этапы исследований: достичь технологической совместимости фибры и бетона-матрицы; обеспечить коррозионную стойкость фибры в среде цементного камня; создать максимальное сцепление фибры в бетоне-матрице с целью наиболее эффективного использования ее прочностных свойств.

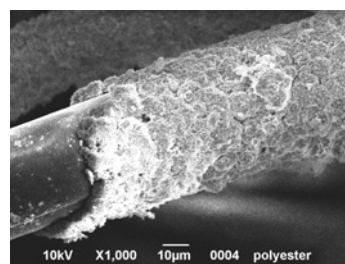
Опыт применения синтетических волокон, например, полипропиленовых, в качестве армирующих добавок в бетоны и строительные растворы показывает, что волокна не только значительно снижают образование внутренних микротрещин, но и способствуют микроструктурному уплотнению, что является основным фактором повышения долговечности бетона и защиты стальной арматуры. Вместе с тем полипропиленовое волокно имеет свои недостатки: деформируется даже при небольших растягивающих нагрузках, стареет, то есть, теряет свои свойства с течением времени, так же возгорается при воздействии на него открытого пламени. Серьезную экологическую угрозу во всем мире создаёт возрастающее количество промышленных отходов и пластиковой тары из полиэтилентерефталата. Данные отходы перерабатываются в полиэфирные волокна и могут применяться в бетонах с целью замены полипропилена и асбеста. Армирование бетона полиэфирными волокнами по данным некоторых исследователей может повысить пластичность бетона, его термоустойчивость и прочность при сжатии, ударную прочность. Однако общеизвестно, что полиэфиры не стойки в щелочной среде, а о стойкости волокон в цементных составах единого мнения нет, и этот вопрос требует дополнительного изучения [11, 12]. То же относится и к обычному нещелочестойкому волокну.

### Результаты исследований и обсуждения результатов

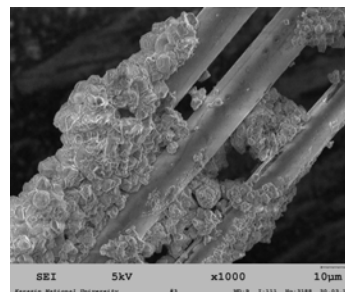
В результате выполненных исследований, была получена защитная кристаллическая обойма на стеклянных и полиэфирных микроволокнах. На полипропиленовых волокнах такой обоймы не наблюдается (рис. 1). Введение комплексной химической добавки в состав с полиэфирным волокном позволяет также повысить трещиностойкость и снизить капиллярную пористость композита.

Поперечные усадочные деформации гидроизоляционного состава исследованы по методике профессора Дворкина Л.И. Результаты испытаний представлены в табл. 1.

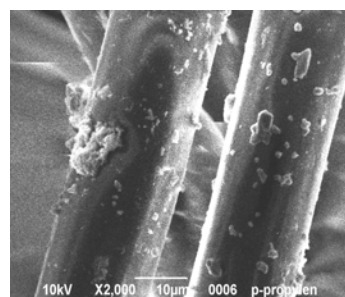
Результаты и анализ табл. 1 подтвердил, что образцы, содержащие в своем составе комплексную химическую добавку (1, 2, 3) не подвержены такой деформации, как растрескивание, поскольку напряжения, возникающие в результате усадки, компенсируются дополнительным ростом кристаллогидратов в поровом пространстве цементного камня.



а



б



в

Рис. 1. Волокна, извлеченные из вытяжки цементного камня с модификатором через 28 суток: а – полиэфирное волокно; б – стеклянное волокно; в – полипропиленовое волокно

Таблица 1

Результаты испытаний бетонных образцов кольцевого сечения

Номер образца в соответствии с составом	Фиксирование трещин на поверхности образцов при твердении (сутки)			
	3	7	14	28
1	нет	нет	нет	нет
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
контрольный	-	*	*	*

\* – микротрещины

На образцах под номерами 1, 2 и 3 разработанного гидроизоляционного состава трещин при твердении не обнаружено. Капиллярная пористость бетонных образцов отражена на рис. 2. Таким образом, диаграммы рис. 2 показывают, что у затвердевшего контрольного состава открытая капиллярная пористость составляет 16,22%, что соответствует величине водопоглощения по объему. Введение оптимального количества комплексной химической добавки (8 – 9%) снижает водопоглощение образцов более чем в 8 раз (образец №2).

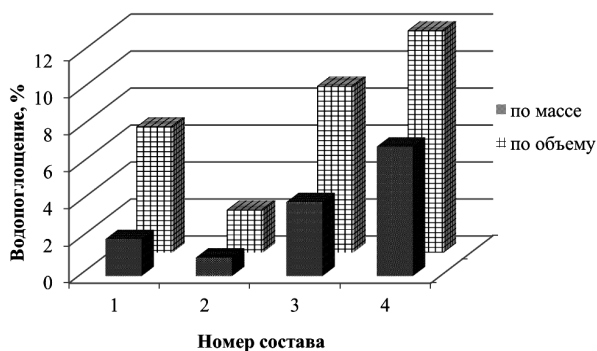


Рис. 2. Экспериментальные данные исследования водопоглощения по массе и по объему гидроизоляционных составов с различным содержанием комплексной химической добавки и полиэфирного волокна

## Выводы

Полученные результаты исследований позволили разработать композиционный материал с полиэфирной микрофиброй. Это стало возможно благодаря её максимальному сцеплению и за счет дополнительного увеличения объема в результате образования кристаллической обоймы с одной стороны, а с другой стороны за счет контракционной усадки цементного камня. Образовавшиеся кристаллы представляют собой в основном низкоосновные гидросиликаты и гидроалюминаты кальция, кальцит, гидросульфалоюминат кальция. Полученный композиционный материал имеет сверхнизкую проницаемость W12, обеспечивает высокую коррозионную стойкость и долговечность фибробетона, а также ускоренный прирост прочности.

В настоящее время имеются практически все возможности для создания высокопрочных фибробетонов нового поколения на основе отечественных материалов. Наличие современных эффективных видов фибры позволяет упростить ее введение и перемешивание, что, в свою очередь, дает возможность в большей степени использовать технологическое оборудование, применяемое для обычных бетонов. При этом могут быть получены и использованы фибробетонные смеси высокой подвижности.

## ЦЕМЕНТНИЙ КОМПОЗИЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ ДЛЯ ГІДРОІЗОЛЯЦІЇ ТА РЕМОНТУ

Т.О. Костюк, О.І. Бондаренко, В.А. Арутюнов, О.В. Рачковський

*Розглянуті можливості використання нетрадиційних видів мікрофібри в дрібнозернистих бетонах з ціллю підвищення експлуатаційних властивостей цементних бетонів, таких як тріщиностійкість та капілярна пористість. Досліджена можливість утилізації певних промислових відходів з ціллю покращення екологічної складової життя населених пунктів та промислових регіонів.*

**Ключові слова:** фібробетон, поліефірне волокно, скляне волокно, поліпропіленове волокно, композиційний матеріал, гідроізоляція, сталеві арматури, промислові відходи, навколишнє середовище.

## CEMENT COMPOSITE MATERIAL FOR HYDRO INSULATION AND REPAIR

T.O. Kostyuk, O.I. Bondarenko, V.A. Arutyunov, O.V. Rachkovskiy

*The variants of application of non-traditional kinds of microfiber in the fine concrete are studied and experimentally proved in order to improve their operating properties, i.e. fracture toughness and capillary porosity. The possibility of appropriate disposal of industrial waste with the aim of improving the environmental component of settlements in the regions is studied.*

**Keywords:** fiber concrete, polyester fiber, glass fiber, polypropylene fiber, a composite material, hydro insulation, bar reinforcement, industrial waste, environment, fiber-concrete mixture.

## Список литературы

1. Волков И.В. Фибробетон: технико-экономическая эффективность применения / И.В. Волков // *Промышленное и гражданское строительство*. – 2002. – №9. – С. 12-16.
2. Железобетон в XXI веке: Состояние и перспективы развития бетона и железобетона в России / Госстрой России, НИИЖБ. – М., 2001.
3. ВСН 56-97. Проектирование и основные положения технологий производства фибробетонных конструкций.
4. Рекомендации по проектированию и изготовлению сталефибро-бетонных конструкций / НИИЖБ, ЛенЗНИИЭП, ЦНИИпромзданий. – М., 1987.
5. Hannat J. *Fibre cements and fiber concretes* / J. Hannat. – New York, 1998.
6. Magu Madar A. *Glass fibre reinforced cement* / Magu Madar A. – London, 1991.
7. *Proceedings of the 2-nd Asia – Pacific speciality conference on fibre reinforced concrete*. – Singapore. Aug. 1999.
8. Обоснование выбора солей-электролитов для содержащих кальцит и стекловолокно комплексных добавок в гидроизоляционные сухие смеси / А.А. Плугин, Н.Н. Партала, Т.А. Костюк и др. // *Будівельні матеріали, виробити та санітарна техніка*. – 2012. – №44. – С. 105-108.
9. Плугин А.А. Изотропное микроармирование цементного камня продуктами гидратации для повышения физико-механических характеристик гидроизоляционных покрытий / А.А. Плугин, М.Г. Салия, Т.А. Костюк // *Вісник НТУ «ХПИ»: Тематичний випуск «Хімія, хімічна технологія та екологія»*. – Х.: НТУ «ХПИ». – 2011. – №50. – С. 97-100.
10. Плугин А.А. Возможности применения полимерной микрофибры в гидроизоляционных цементных составах / А.А. Плугин, В.А. Арутюнов, Т.А. Костюк, Д.А. Бондаренко // *Материалы IX Межд. нПК «Дни науки - 2013»*. – Прага: «Образование и наука», 2013. – Т. 32. – С. 79-85.
11. Pelisser F. *Mechanical properties of recycled PET fibers in concrete* / F. Pelisser, O. Montedo, Ph. Gleize, H. Roman. [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-14392012005000088>.
12. Fraternali F. Экспериментальное исследование термо-механических свойств вторичного ПЭТ фибробетона композитных конструкций / F. Fraternali, V. Ciancia, R. Chechile, G. Rizzano, L. Feo, L. Incarnato. – 2011;. 93:2368-2374. [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2011.03.025>.

Поступила в редколлегию 28.04.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Н.И. Адаменко, Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Харьков.