

УДК 691.3

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.138.2013.102353>

*Д-р техн. наук А.А. Плугин (УкрГАЗТ),
В.А. Арутюнов,
канд. техн. наук Т.А. Костюк (ХНУБА)*

A.A. Plugin, V.A. Arutyunov, T.A. Kostyuk

**ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ СОСТАВЫ НА ОСНОВЕ
ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА, АРМИРОВАННЫЕ ПОЛИМЕРНЫМИ
ВОЛОКНАМИ: ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
ПОЛИЭФИРНОЙ МИКРОФИБРЫ**

**WATERPROOFING COMPOUNDS BASED ON PORTLAND CEMENT,
REINFORCED WITH POLYMER FIBERS: EVALUATION OF THE
POSSIBILITY OF POLYESTER MICROFIBER**

Постановка проблемы. Согласно экспертным оценкам [1] от 15 до 75% строительных конструкций в процессе эксплуатации подвергаются воздействию агрессивных сред, а 5-10% из них ежегодно выходят из строя, поэтому вопросам

долговечности зданий и сооружений во всем мире уделяется большое внимание. При ремонтных работах широко применяются цементные составы, обладающие высокой адгезией к поверхности бетона. Из современных

наиболее универсальных материалов, применяемых для защиты от химических и физических агрессивных воздействий, можно выделить цементные составы пониженной проницаемости [2; 3], особое место среди которых занимают гидроизоляционные составы так называемого интегрально-капиллярного действия, формирующие уплотненную структуру за счет прорастания в капилляры, микротрещины и поры бетона новых нерастворимых или малорастворимых кристаллогидратов. Такие защитные составы обладают широким спектром действия и применения и могут обеспечить защиту бетона от биологической коррозии, быструю ликвидацию напорных и безнапорных течей, ремонт железобетонных конструкций с пассивацией арматуры [4].

Однако при всех известных достоинствах цементных составов у цементного камня имеются существенные недостатки – невысокая прочность при растяжении (приблизительно в 10 раз ниже прочности при сжатии), усадка, приводящая к образованию трещин. Это ограничивает применение цементных составов в ремонтных и реставрационных работах. Ремонтные составы обычно наносятся тонким слоем, и отношение площади нанесения к объему нанесенного состава является весьма большой величиной. Это является причиной быстрого испарения воды, приводит к возникновению и развитию усадочных напряжений и трещин. Увеличить прочность при растяжении, уменьшить усадку и трещинообразование эффективно позволяет дисперсное армирование полимерным или минеральным волокном, стальной фиброй различной длины или их сочетаниями [5]. Наполнение цементных составов микрофиброй существенно влияет также на их гидрофизические свойства.

Опыт применения полимерных волокон, например полипропиленовых, в качестве армирующих добавок в бетоны и

строительные растворы показал, что волокна не только значительно уменьшают микротрещинообразование, но и способствуют уплотнению микроструктуры, 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, т. е. теряет свои свойства с течением времени, горит при воздействии открытого огня.

В мире накапливается и загрязняет окружающую среду большое количество промышленных отходов и пластиковой тары из полиэтилентерефталата ПЭТ, которые перерабатываются в полиэфирные волокна и могут применяться в бетонах и растворах вместо полипропиленовых волокон и асбеста. Полиэфирное волокно – синтетическое волокно, формируемое из расплава полиэтилентерефталата или его производных [6]. Достоинства – незначительная сминаемость, высокие свето- и атмосферостойкость, прочность, хорошая стойкость к истиранию и к органическим растворителям. Армирование бетона полиэфирными волокнами по результатам некоторых исследователей может повысить пластичность бетона, его термоустойчивость и прочность при сжатии, ударную прочность. Однако известно, что полиэфиры не стойки в щелочной среде, а о стойкости волокон в цементных составах единого мнения нет и этот вопрос требует дополнительного изучения [7; 8; 9].

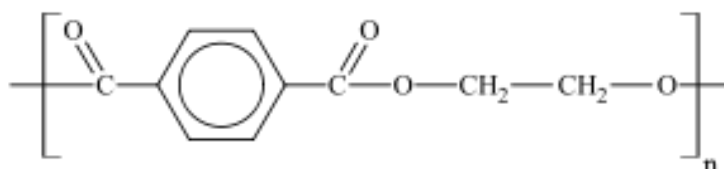
Цель исследования – оценка возможности применения полиэфирной микрофибры для дисперсного армирования гидроизоляционных составов на основе портландцемента.

Основной материал исследований. В предыдущих исследованиях было установлено формирование кристаллического каркаса в перлитовых ячейках [10] или кристаллической обоймы вокруг стекловолна в цементных гидроизоля-

ционных составах интегрально-капиллярного действия, содержащих комплекс солей для дополнительного синтеза кристаллогидратов с положительным знаком заряда поверхности [11; 12].

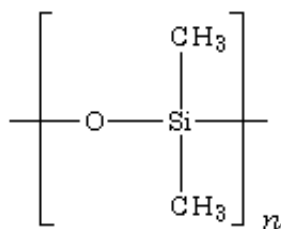
Предположим, что полиэфирное волокно также может выполнять роль подложки для роста продуктов гидратации

цемента и на его поверхности будет формироваться кристаллическая обойма, обеспечивающая прочное сцепление со всей структурой цементного камня и защищающая волокна от разрушения в щелочной среде. Полиэфирное волокно состоит преимущественно из полиэтилентерефталата [13]:



Анализ структурной формулы полиэтилентерефталата свидетельствует о его гидрофобности, следовательно, неспособности служить подложкой для продуктов гидратации цемента. Однако при изготовлении поверхность полиэфирного волокна обрабатывают силиконовым замас-

ливателем. Силиконы – это, как правило, органосилоксановые полимеры (полиорганосилоксаны) со структурной формулой $[R_2SiO]_n$, где R – органическая группа (метильная, этильная или фенильная), например простейший представитель силиконов – полидиметилсилоксан [13]:



Эти группы могут обладать дипольным моментом относительно силоксановой цепи (по аналогии с [14]), следовательно, обеспечивать силиконовой пленке гидрофильность и электроповерхностный потенциал, т.е. способность служить подложкой для продуктов гидратации цемента.

Выполнены электронно-микроскопические исследования цементного гидроизоляционного состава с химическими добавками и полиэфирным волокном. На рис. 1 представлены электронно-микроскопические снимки полиэфирных волокон с пленкой силиконового замасливателя.

На рис. 2 и 3 представлены электронно-микроскопические снимки полиэфирных волокон в цементном гидроизоляционном составе через 1 и 28 суток твердения, соответственно. Из рис. 2 и 3 видно, что уже в первые сутки твердения поверхность волокна покрыта продуктами гидратации (рис. 2), которые на 28 суток образуют сплошную обойму, в составе которой просматриваются кристаллогидраты гексагонального портландита и кубического гидроалюмината кальция, а также гелеобразных гидросиликатов кальция (рис. 3).

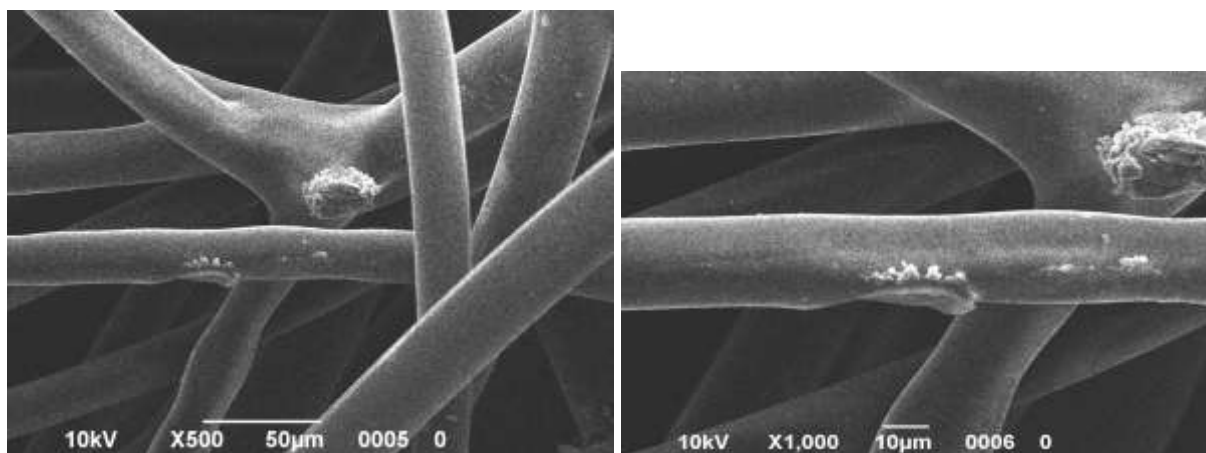


Рис. 1. Электронно-микроскопический снимок полиэфирного волокна с силиконовой пенкой. Сканирующий электронный микроскоп

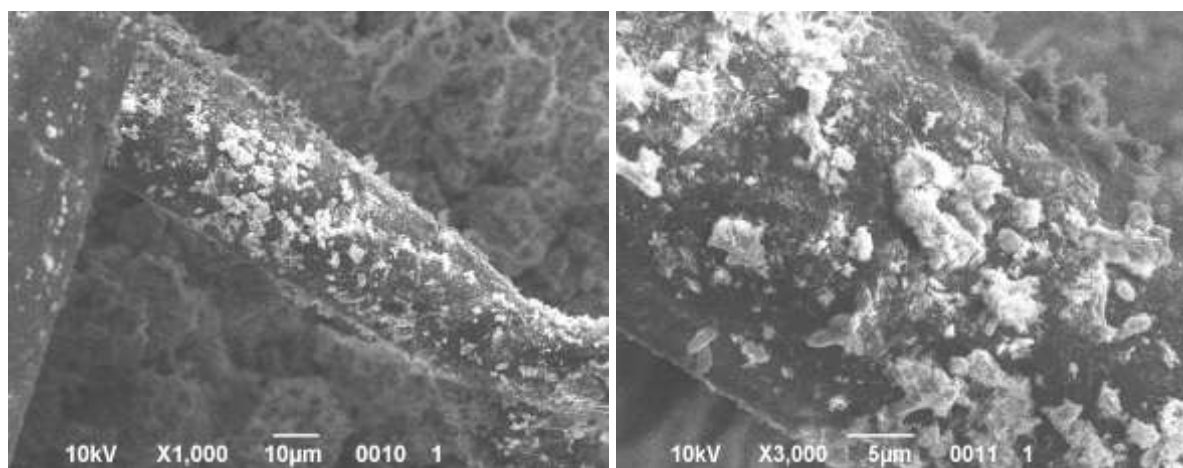


Рис. 2. ЭМС полиэфирного волокна в цементном гидроизоляционном составе через 1 сутки твердения. СЭМ

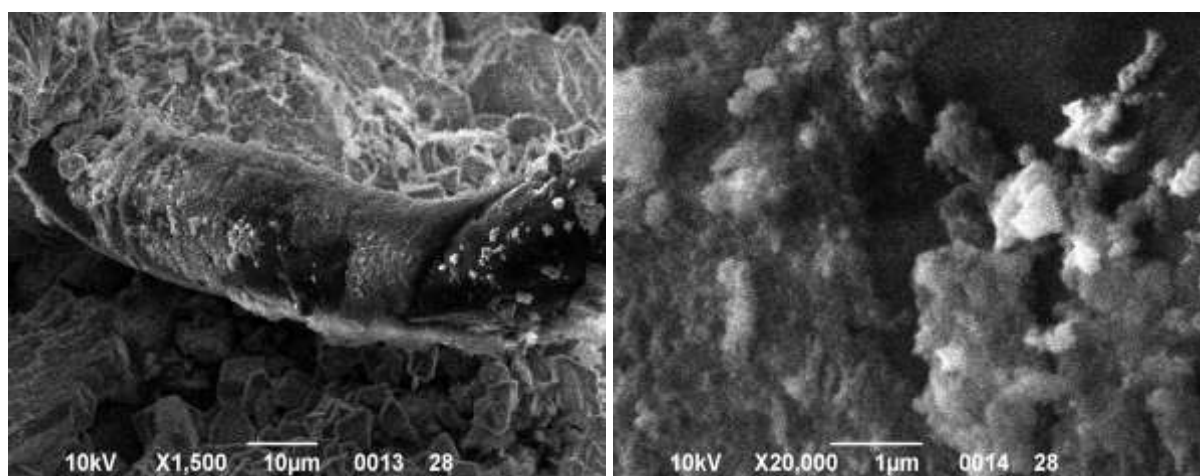


Рис. 3. ЭМС полиэфирного волокна в цементном гидроизоляционном составе через 28 суток твердения. СЭМ

Наполнение цементного камня волокнами до определенных пределов увеличивает его прочность на растяжение, однако их избыток приводит к увеличению пористости и ухудшению гидрофизических характеристик покрытий.

Выполнены исследования зависимости прочности при изгибе и водопоглощения цементного гидроизоляционного состава от степени его наполнения

волокнами (содержания по объему, табл. 1, рис. 4-6). Из рис. 4, *а* видно, что максимальные значения прочности при изгибе отмечаются при содержании волокна 4,0-4,2 % от массы цемента. При этом из рис. 4, *б* видно, что водоводопоглощение остается минимальным при содержании волокна до 4,5%, после чего начинает резко возрастать.

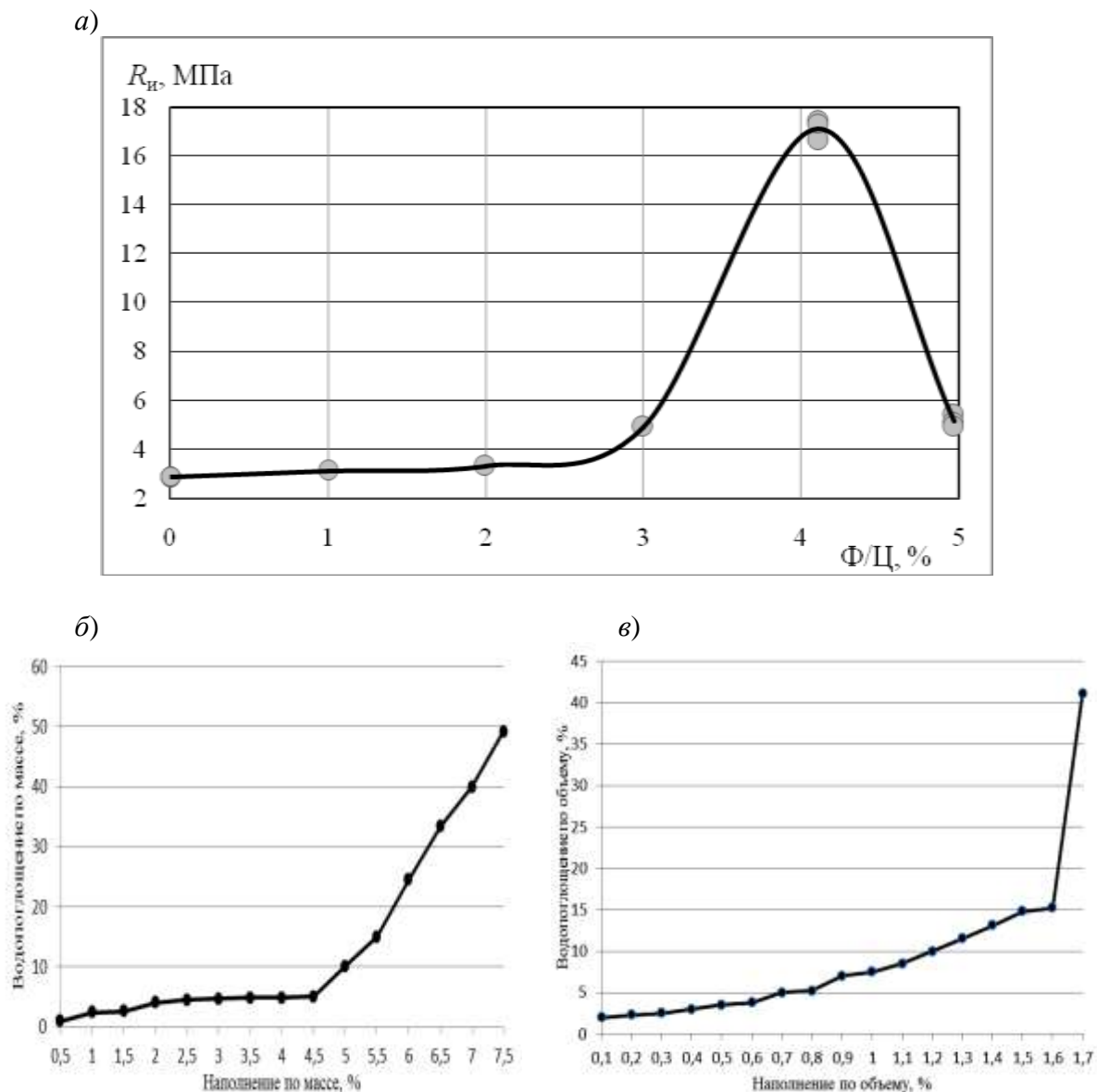


Рис. 4. Зависимость от содержания волокна (наполнения по массе или объему) прочности при изгибе (*а*), водопоглощения по массе (*б*) и объему (*в*) цементного гидроизоляционного состава

Выполнено исследование капиллярного поднятия воды по образцам-балочкам из цементно-песчаного раствора, покрытым цементным гидроизоляционным составом с разным содержанием полиэфирного волокна. Для этого образцы, покрытые составами с содержанием фибры 5,0 % по массе (образец 1, рис. 5) и 4,1 % по массе (образец 2, рис. 5) помещали горизонтально в емкость с водой таким образом, чтобы ее уровень достигал половины высоты балочек (рис. 5, б).

Из рис. 5, б видно, что по образцу 1, покрытому составом с 5,0 % фибры, вода поднимается на всю высоту и проступает на его верхней грани, т. е. этот состав впитывает воду под действием капиллярных сил. Поверхность образца 2, покрытого составом с 4,1 % фибры, остается сухой, что свидетельствует о его непроницаемости для капиллярного впитывания воды.

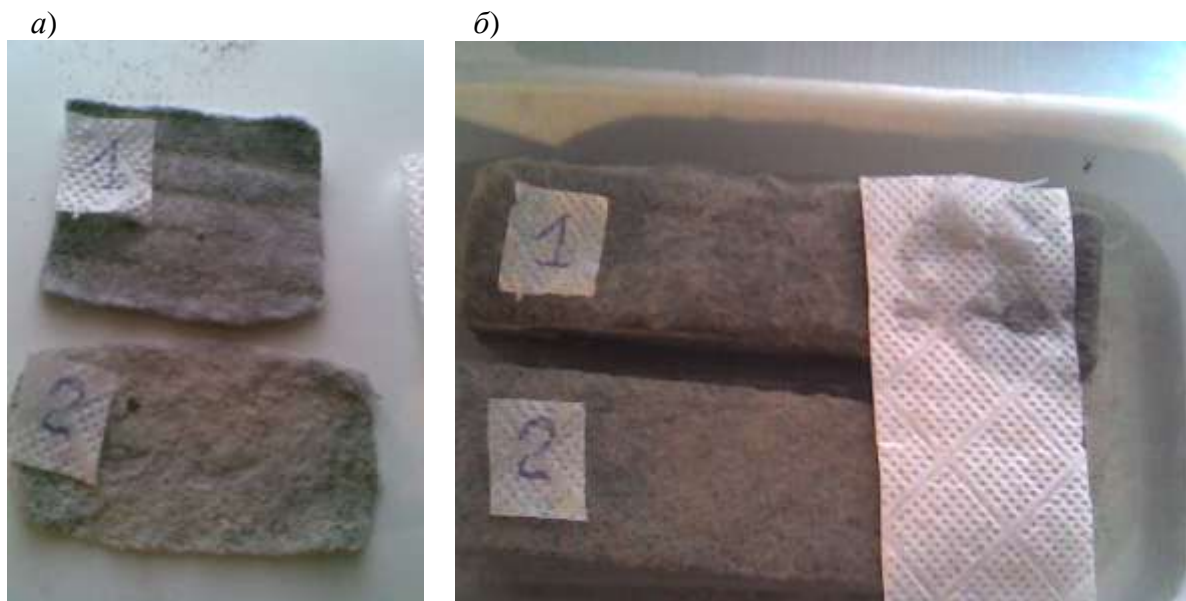


Рис. 5. Исследование капиллярного поднятия воды по цементным гидроизоляционным составам с содержанием фибры 5,0 % по массе (состав 1) и 4,1 % по массе (состав 2): а – гидроизоляционные покрытия в сухом состоянии; б – образцы-балочки из цементного гидроизоляционного состава в емкости с водой

Выводы и рекомендации

1. В результате проведенных исследований установлено, что полиэфирная микрофибра представляет собой волокна из полиэтилентерефталата, покрытые силиконовым замасливателем, обеспечивающим способность волокна служить подложкой для продуктов гидратации цемента, и в целом пригодна для дисперсного армирования цементных гидроизоляционных составов.

2. Установлено, что при твердении цементного гидроизоляционного состава с полиэфирной микрофиброй на поверхности

ее волокон образуется обойма из продуктов гидратации цемента – кристаллогидратов гексагонального портландита и кубического гидроалюмината кальция, а также гелеобразных гидросиликатов кальция.

3. Установлено, что добавка в цементный гидроизоляционный состав полиэфирной фибры в количестве 4,0-4,2 % от массы цемента обеспечивает максимальное повышение прочности при изгибе, однако увеличение ее содержания свыше 4,5 % приводит к резкому повышению водопоглощения и способности к капиллярному впитыванию воды.

Список литературы

1. Степанова, В.Ф. Защита строительных конструкций – основа обеспечения долговечности зданий и сооружений [Текст] / В.Ф. Степанова // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2005. – № 3. – С. 16-19.
2. Москвин, В.М. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты [Текст] / В.М. Москвин, Ф.М. Иванов, С.Н. Алексеев, Г.А. Гузеев. – М.: Стройиздат, 1980. – 533 с.
3. Розенталь, Н.К. Коррозионная стойкость цементных бетонов низкой и особо низкой проницаемости [Текст] / Н.К. Розенталь. – М.: ФГУП ЦПП, 2006. – 520 с.
4. Кондращенко, Е.В. Оценка коррозионной стойкости арматуры под защитным слоем ВИАТРОНа [Текст] / Е.В. Кондращенко, В.И. Бабушкин, О.Ю. Прошин, Т.А. Костюк // Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков, 2004. – № 41. – С. 20-22.
5. Моргун, Л.В. О некоторых свойствах фибропенобетона неавтоклавного твердения и изделий из него [Текст] / Л.В. Моргун // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2005. – № 2. – С. 24-25.
6. Айзенштейн, Э.М. Технология производства химических волокон [Текст] / Э.М. Айзенштейн. – М., 1980. – С. 326-414.
7. Pelisser F., Montedo O., Gleize Ph., Roman H. Mechanical properties of recycled PET fibers in concrete [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-14392012005000088>.
8. Fraternali F, Ciance V, Chechile R, G Rizzano, Feo L, Incarnato L. Экспериментальное исследование термомеханических свойств вторичного ПЭТ фибробетона композитных конструкций.- 2011.- 93:2368-2374. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2011.03.025>.
9. Patel J.K., Desai N.B., Rana J.C. Properties and Application of Steel, Polypropylene and Polyester Fibre // Fiber Reinforced Cements and Concretes Recent Developments. – London: Elsevier Applied Science, 1989. – pp. 306-315.
10. Бондаренко, Д.А. Теплоизоляционный материал с пониженной паропроницаемостью [Текст] / Д.А. Бондаренко, Ю.А. Спирин, Н.Г. Привалова // Наук. вісн. будівництва. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2009. – Вип. 52. – С. 282-295.
11. Плугин, А.А. Обоснование выбора солей-электролитов для содержащих кальцит и стекловолокно комплексных добавок в гидроизоляционные сухие смеси [Текст] / А.А. Плугин, Н.Н. Партала, Т.А. Костюк, М.Г. Салия, Д.А. Бондаренко // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. – 2012. – № 44. – С. 105-108.
12. Плугин, А.А. Изотропное микроармирование цементного камня продуктами гидратации для повышения физико-механических характеристик гидроизоляционных покрытий [Текст] / А.А. Плугин, М.Г. Салия, Т.А. Костюк // Вісник НТУ «ХП»: зб. наук. пр. Тематичний випуск «Хімія, хімічна технологія та екологія». – Харків: НТУ «ХП». – 2011. – № 50. – С. 97-103.
13. Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org>
14. Майофис, И.М. Химия диэлектриков [Текст] / И.М. Майофис. – М.: Высш. школа, 1970. – 332 с.

Ключевые слова: портландцемент, гидроизоляционный состав, полиэфирное волокно, микроструктура, прочность при изгибе, водопоглощение.

Аннотации

Досліджено властивості цементного гідроізоляційного складу, що містить поліефірні волокна. Встановлено, що на поверхні волокна утворюється кристалічна обійма переважно з гексагонального портландіту і кубічного гідроалюмінату кальцію, що забезпечує міцне зчеплення з усією структурою цементного каменю і захищає волокна від руйнування в лужному середовищі.

Исследованы свойства цементного гидроизоляционного состава, наполненного полиэфирным волокном. Установлено, что на поверхности волокна образуется кристаллическая обойма преимущественно из гексагонального портландита и кубического гидроалюмината кальция, которые обеспечивают прочное сцепление со всей структурой цементного камня и защищает волокна от разрушения в щелочной среде.

The properties of the cement waterproofing composition, filled with polyester fiber. Found that on the surface of a crystalline fiber ferrule mainly of hexagonal and cubic portlandite gidroaluminumate calcium, which provide strong adhesion with the entire structure of cement stone and protects the fiber from damage in an alkaline environment.