

Пеноцементный композит с целлюлозной фиброй для малоэтажного строительства

Валерий Игоревич ФЕДОРОВ, аспирант, e-mail: elley-90@mail.ru

Алексей Егорович МЕСТНИКОВ, доктор технических наук, профессор, e-mail: mestnikovae@mail.ru

ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова», 677000 Якутск, ул. Белинского, 58

Аннотация. Изложена технология производства пеноцементного композита с использованием вторичных целлюлозных фибр. Приведены результаты исследования структуры и свойств пеноцементного композита, а также процесс извлечения целлюлозной фибры из листа макулатуры. Проанализированы основные физико-механические и физико-химические процессы, протекающие во время извлечения целлюлозной фибры. Рассмотрен механизм разрушения ячеистых композитных материалов под влиянием внешних механических воздействий. Результаты экспериментальных исследований дают максимальное представление о свойствах пеноцементного композита, возможных изменениях и новообразованиях в глубоких слоях пористого материала, обеспечивающих повышенные строительно-эксплуатационные показатели пеноцементного композита. Исследования проведены с использованием стандартных средств и методов измерения, а также комплекса современных физико-химических методов анализа. Выявлена причинно-следственная взаимосвязь между концентрацией целлюлозной фибры и прочностью при сжатии пеноцементного композита. Установлена критическая концентрация целлюлозной фибры относительно массы цемента. Описаны структурные особенности продуктов гидратации цемента в зоне контакта между фиброй и цементной матрицей. Обосновано положительное влияние наличия целлюлозных фибр в структуре цементной матрицы.

Ключевые слова: пеноцементный композит, целлюлозная фибра, вторичное целлюлозное волокно, распушка листа макулатуры, прочность при сжатии, цементная матрица.

A FOAM-CEMENT COMPOSITE WITH CELLULOSE FIBER FOR LOW-RISE CONSTRUCTION

Valerij I. FEDOROV, e-mail: elley-90@mail.ru

Aleksej E. MESTNIKOV, e-mail: mestnikovae@mail.ru

North-Eastern Federal University, ul. Belinskogo, 58, Yakutsk 677000, Russian Federation

Abstract. The article discusses the development of production technology of the foam-cement composite with the use of the secondary cellulosic fibers. Results of the study of the structure and properties of the foam-cement composite as well as the process of extracting the cellulose fibers from a sheet of paper are presented. The basic physical-mechanical and physical-chemical processes occurring during the extraction of cellulose fibers are analyzed. The mechanism of destruction of cellular composite materials under the influence of external mechanical impacts is considered. The results of experimental studies give a wide overview of the properties of the composite foam cement, possible changes and new formations in the deep layers of the porous material, ensuring higher construction and operating characteristics of the foam cement composite. Experimental studies were performed with the use of standard tools and measurement methods, as well as a complex of up-to-date physical-chemical methods of analyzing. A casual relationship between the concentration of cellulose fiber and the compressive strength of foam-cement composite has been revealed. Critical concentration of the cellulose fiber relative to the weight of cement has been established. The structural properties of products of cement hydration in the contact zone between a fiber and cement matrix are described. Positive influence of the presence of cellulose fibers in the structure of cement matrix is substantiated.

Key words: foam-cement composite, cellulose fiber, secondary cellulose fiber, opening of sheet of paper, matrix, compressive strength, cement matrix.

Текущий рост производства промышленной продукции приводит к непрерывному увеличению потребления природных ресурсов, повышению расхода энергии, образующихся отходов и загрязнению окружающей среды. Современное строительное материаловедение тесно взаимосвязано с решением таких задач, как повышение эффективности

производства, снижение стоимости и трудоемкости технологических процессов, рациональное использование материальных и энергетических ресурсов [1].

Разработка энергосберегающих строительных материалов — приоритетное направление в строительной индустрии, поскольку именно от их свойств зависит надежность и долговеч-

ность строительных конструкций в целом. Одними из перспективных материалов, эксплуатируемых в суровых климатических условиях, являются разновидности ячеистых композитов на основе вяжущих гидратационного твердения. Однако эти материалы имеют ряд недостатков, в частности, относительно низкую прочность, которая обусловлена до-

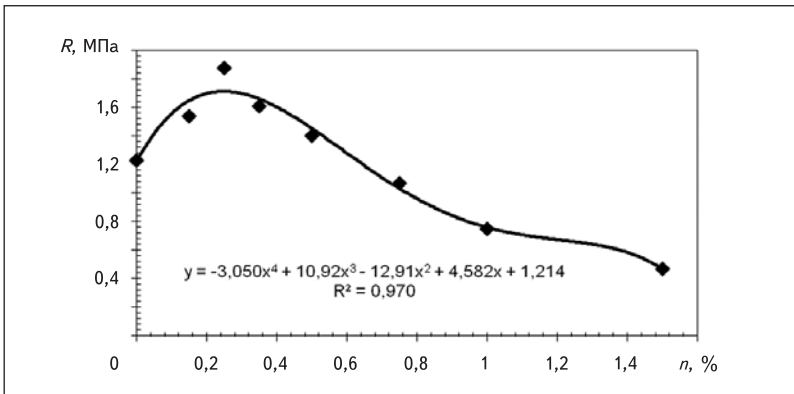


Рис. 1. Зависимость концентрации целлюлозной фибры n и предела прочности R при сжатии ПЦК плотностью $D600$ в возрасте 28 сут

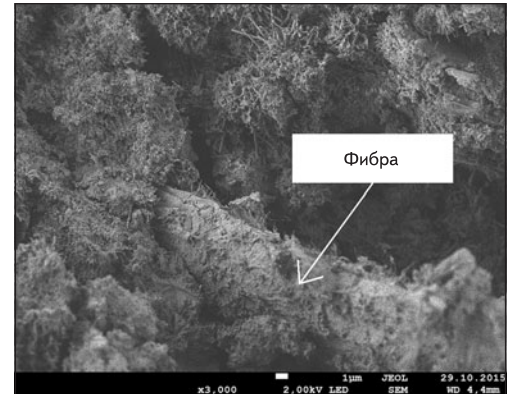


Рис. 2. Расположение целлюлозной фибры в цементной матрице ПЦК (увеличение $\times 3000$)

статочной трудоемкостью получения оптимальной пористой структуры. В первую очередь это связано с необходимостью управлять большим количеством рецептурных и технологических факторов.

Разрушение ячеистых композитных материалов начинается в зонах, где происходит концентрация внутренних напряжений, которые при дальнейшем нагружении способствуют формированию комплексной сети микротрещин. В результате их объединения образуется макротрещина, что собственно и является началом процесса механической деструкции композита [2, 3]. Из-за наличия таких дефектных мест ячеистый композит не использует в полной мере заложенный в нем потенциал механической прочности.

В целях повышения качества ячеистого композита возникает необходимость равномерного распределения внутренних напряжений по всему объему материала. Наиболее простой и эффективный способ решения данной задачи — введение волокон-фибр [3]. Предложенный технологический прием позволяет передать растягивающее напряжение от матрицы композита к фибре. Получаемый эффект передачи напряжений помогает существенно затормозить процесс об-

разования и раскрытия трещин, тем самым повышая прочностные показатели ячеистого композита.

Исходя из жестких требований к технологии изготовления ячеистых композитов и особенностей эксплуатации изделий на их основе, необходимо выполнение следующих условий: предельная деформативность фибры должна быть выше предельной деформативности бетона; соотношение модулей упругости фибры и бетонной матрицы должно быть больше 1; предел прочности фибры при растяжении должен превышать тот же параметр цементной матрицы; фибра должна быть химически стойкой в щелочной среде твердеющего цемента [2, 3].

По соотношению «цена/качество» наиболее отвечают рассмотренным требованиям вторичные целлюлозные волокна. Волокна целлюлозы получают роспуском макулатурного листа в водной среде. Процесс извлечения из макулатуры волокон целлюлозы производится путем совмещения физико-химических и гидродинамических процессов, происходящих с макулатурой при контакте с водой. Перед роспуском макулатуру предварительно отстаивают в водной среде в течении 12 ч. В процессе отстаивания вода проникает в поры

листа, раздвигает волокна и вызывает их набухание, происходит разрыв прочных водородных связей между волокнами и их замещение слабыми водными мостиками [4].

Одновременно вода как смазка уменьшает трение между волокнами, что приводит к дополнительному снижению прочности бумажного листа. Далее намоченные листы макулатуры распускают в лабораторном смесителе пропеллерного типа. Разрушение целостности листа и его разволокнение в процессе смешивания происходит за счет гидродинамических и механических воздействий, которые приводят в движение фрагменты макулатуры. Двигающиеся в гидравлических потоках смесителя они встречают на своем пути различные преграды: стенки сосуда, соседние фрагменты макулатуры и т. п., получают ударные импульсы и дополнительно разрушаются. Помимо ударных импульсов, фрагменты макулатуры испытывают ударные воздействия от подвижного элемента смесителя, т. е. происходит постепенное отделение волокон целлюлозы от листа макулатуры.

Следует отметить, что прочность волокон, составляющих бумагу и картон, намного превышает прочность намоченного листа, поэтому механические воз-

действия позволяют разделить лист на отдельные волокна без нарушения их целостности [4]. Продолжительность отпуска в смесителе составляет 1 ч.

Для расчета состава пеноцементной смеси руководствовались требованиями СН 277-80 «Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона» и работами [5, 6]. Образцы пеноцементного композита (ПЦК) изготовлены классическим способом. Лабораторные испытания образцов проведены на поверенных приборах и оборудовании испытательного центра «Якутск-эксперт». Исследование структуры, определение качественных и количественных показателей ячеистого композита выполнены на базе инновационно-технологического центра «Энергоэффективные строительные материалы». Изображение макроструктуры пеноцементного композита получено на электронном сканере. Микроструктура ПЦК исследовалась с помощью сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM-7600F в лаборатории коллективного пользования СВФУ им. М. К. Аммосова. Основные физико-механические свойства вяжу-

щего и ПЦК определены согласно требованиям действующих нормативно-технических документов. Обработка полученных данных выполнена на базе следующих прикладных программ: «Microsoft office Excel 2007», «MathCAD 2001i».

Экспериментальные исследования механических свойств ПЦК проведены на образцах размером $100 \times 100 \times 100$ мм. Результаты испытаний серии образцов ПЦК на предел прочности при сжатии показаны на *рис. 1*.

С повышением содержания фибры в структуре ПЦК прочность при сжатии увеличивается прямо пропорционально до концентрации 0,3 %. При дальнейшем увеличении концентрации прочность постепенно снижается. Полученная зависимость полностью соответствует закону створа [7] и имеет одну экстремальную точку, что, в свою очередь, является точкой оптимума. Повышение прочности до экстремального значения объясняется тем, что нагрузка, воспринимаемая ПЦК, передается через цементную матрицу непосредственно к фибре [3, 7–9].

Введение фибры позволяет

повысить вязкость разрушения ПЦК в результате торможения процесса образования микротрещин [3]. Кроме того, увеличение прочности при сжатии взаимосвязано с более плотной упаковкой продуктов гидратации минералов цемента в зоне контакта фибры и цементной матрицы (*рис. 2*). Это объясняется образованием центров кристаллизации на поверхности фибры, за которым следует осаждение кристаллов $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в заполненных водой порах около поверхности [8, 10].

Вывод

Проведенные исследования показали, что применение целлюлозной фибры позволяет увеличить прочность при сжатии пеноцементных композитов до 60 %. Учитывая, что фибры извлечены из обычной бумажной макулатуры, степень увеличения прочности можно считать достаточно высокой. Добавление целлюлозной фибры в ПЦК позволяет получить конструкционно-теплоизоляционный стеновой материал плотностью D600 и прочностью класса B1,5 для применения в малоэтажном строительстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дворкин Л. И., Дворкин О. Л. Строительные материалы из отходов промышленности. Ростов-на-Дону : Феникс, 2006. 264 с.
2. Королев А. С., Волошин Е. А., Трофимов Б. Я. Оптимизация состава и структуры ячеистого бетона с повышенными прочностными характеристиками // Строительные материалы. 2004. № 3. С. 30–32.
3. Рабинович Ф. Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции. М. : АСВ, 2004. 560 с.
4. Фляте Д. М. Свойства бумаги. М. : Лесная промышленность, 1986. 680 с.
5. Кондратьев В. В., Морозова Н. Н., Хозин В. Г. Структурно-технологические основы получения сверхлегких пенобетонов // Строительные материалы. 2002. № 11. С. 35–37.
6. Баранов А. Т. Пенобетон и пеносиликат. М. : Гос. изд-во литературы по строительным материалам, 1956. 82 с.
7. Рыбьев И. А. Закономерности в структурно-механических свойствах асфальтового бетона // Сб. тр. ВЗИСИ. М., 1957. Т. 1. С. 78–95.
8. Федоров В. И. Дисперсно-армированный пенобетон с применением целлюлозных фибр // Материалы Международ. науч.-техн. конф. в рамках Междунар. выставки «СТРОЙСИБ-2015», 3–6 февраля 2015 г. Новосибирск : НГАУ, 2015. С. 124–123.
9. Федоров В. И. Дисперсно-армированный пенобетон на основе магнезиального цемента и целлюлозных фибр // Материалы 10-й Междунар. науч. конф. «Будущие исследования». София : БялГРАД-БГ, 2014. С. 48–51.
10. Перфилов В. А., Аткина А. В., Кусмарцева О. А. Применение модифицирующих микроармирующих компонентов для повышения прочности ячеистых материалов // Изв. вузов. Строительство. 2010. № 9. С. 11–14.

R E F E R E N C E S

1. Dvorkin L. I., Dvorkin O. L. *Stroitel'nye materialy iz othodov promyshlennosti* [Building materials made of industrial wastes]. Rostov-na-Donu, Feniks Publ., 2006. 264 p. (In Russian).
2. Korolev A. S., Voloshin E. A., Trofimov B. Ja. Optimization of the composition and structure of cellular concrete with high strength characteristics. *Stroitel'nye materialy*, 2004, no. 3, pp. 30–32. (In Russian).
3. Rabinovich F. N. *Kompozity na osnove dispersno-armirovannyh betonov. Voprosy teorii i proektirovaniya, tehnologija, konstrukcii* [Composites based on fiber concrete. Questions of the theory and design, technology, construction]. Moscow, ASB Publ., 2004. 560 p. (In Russian).
4. Fljate D. M. *Svojstva bumagi* [Paper properties]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1986. 680 p. (In Russian).
5. Kondrat'ev V. V., Morozova N. N., Hozin V. G. Structural and technological fundamentals of ultralight foam concrete. *Stroitel'nye materialy*, 2002, no. 11, pp. 35–37. (In Russian).
6. Baranov A.T. *Penobeton i penosilikat* [Foam concrete and foamed silicate]. Moscow, Gos. izd-vo literatury po stroitel'nym materialam, 1956. 82 p. (In Russian).
7. Ryb'ev I. A. *Zakonomernosti v strukturno-mehaničeskikh svojstvah as-fal'tovogo betona* [Patterns in the structural and mechanical properties of asphalt concrete]. *Sbornik trudov VZISl*. Moscow, 1957. Vol. 1. Pp. 78–95. (In Russian).
8. Fedorov V. I. Dispersion-reinforced foam concrete with cellulose fibers. *Materialy Mezhdunar. nauchno-tehn. konf. v ramkah Mezhdunar. vystavki «STROJSIB-2015»*, 3–6 fevralja 2015. Novosibirsk, NGAU Publ., 2015, pp. 124–123. (In Russian).
9. Fedorov V. I. Dispersion-reinforced foam it based on magnesia cement and cellulose fibers. *Materialy 10-j mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Bdeshhite izsledvanija»*. Sofija, BjalGRAD-BG Publ., 2014, pp. 48–51. (In Russian).
10. Perfilov V. A., Atkina A. V., Kusmarceva O. A. Application modifying micro reinforcing components to enhance the strength of the cellular materials. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*, 2010, no. 9, pp. 11–14.

Для цитирования: Федоров В. И., Местников А. Е. Пеноцементный композит с целлюлозной фиброй для малоэтажного строительства // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 8. С. 22–25.

For citation: Fedorov V. I., Mestnikov A. E. A foam-cement composite with cellulose fiber for low-rise construction. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2016, no. 8, pp. 22–25. (In Russian). ■