

23. Шиманов, В.Н. Нейтрализация неагитивного влияния азотсодержащих компонентов в бетоне: автореферат канд. дис. ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет». 2013.

24. Шиманов, В.Н. Нейтрализация вредных примесей в бетоне [Текст] // Актуальные проблемы строительства и архитектуры: докл. международной научно-практической конф. студентов, аспирантов, молодых ученых и докторантов. – В 2 ч. – СПб: СПбГАСУ, 2012. – Ч. 2. – С. 112-115.

25. Шиманов, В.Н. Вредные примеси в бетонах [Текст] / Ю.В. Пухаренко, В.Н. Шиманов // Наука и инновации в современном строительстве 2012: Международный конгресс. – СПб: СПбГАСУ, 2012. – С. 21-23.

26. Шиманов, В.Н. Эмиссия аммиака из бетонных конструкций и методы её снижения [Текст] / Ю.В. Пухаренко, А.М. Миронов, В.Н. Шиманов и др. // СтройПРОФИ. – 2013. – №1 (10). – С. 22-24. (0,3 п.л.).

УДК 666.973.2

Ягубкин А.Н., Бозылев В.В.

К ВОПРОСУ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТЕНОВЫХ АРБОЛИТОВЫХ БЛОКОВ С НАПРАВЛЕННОЙ УКЛАДКОЙ ЗАПОЛНИТЕЛЯ

Изделия из древесно-цементных композиций считаются эффективными строительными материалами, и их производство получило распространение во многих странах мира (Австрия, Великобритания, Германия, США, Япония и др.). В условиях рыночной экономики стеновые материалы должны отвечать новым современным требованиям по созданию благоприятного микроклимата в жилых помещениях, стремясь к признанному эталону – стенам, изготовленным из натурального дерева. В настоящее время строящиеся в Республике Беларусь здания имеют существенные недостатки. Так, в домах, возводимых из железобетонных панелей, из-за недостаточной влажности в помещениях у жителей обостряются астматические заболевания. В домах со стенами из ячеистых газосиликатных блоков наблюдается плесень, грибок на стенах, что приводит к аллергическим заболеваниям. Кроме того, материалы должны быть экологичными, иметь низкую себестоимость, для этого необходимо использовать местное сырьё. Выполнить комплекс поставленных требований может новый вид арболита – модифицированный арболит с направленной укладкой заполнителя, разработанный в Полоцком государственном университете [1-4]. Направленная укладка заполнителя обеспечит достижение высоких прочностных и теплоизоляционных показателей, а добавка Арбел позволит снизить эксплуатационную влажность и при этом избежать сульфатной коррозии. Целью исследований являлось обоснование механизма повышения прочностных показателей арболита с направленной укладкой заполнителя.

Арболит представляет собой материал, состоящий из цементного камня и древесного заполнителя. При этом свойства арболита значительно отличаются от свойств составляющих его материалов. Таким образом, арболит – это композиционный материал [5]. В строении композита обычно выделяют дисперсную фазу (в арболите – древесный заполнитель) и матрицу (в арболите – цементный камень).

На первом этапе с помощью традиционных методов уплотнения арболитовой смеси и разработанного в Полоцком государственном университете метода ко-

лебательного уплотнения были изготовлены и испытаны арболитовые образцы (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнение способов уплотнения бетонной смеси для изготовления арболита

Способ уплотнения	Плотность арболита, кг/м ³	Прочность арболита, МПа
Виброуплотнение	552	2,50
Виброуплотнение с пригрузом	549	2,55
Колебательное уплотнение (горизонтальное расположение щепы)	550	3,28
Колебательное уплотнение (вертикальное расположение щепы)	551	4,11

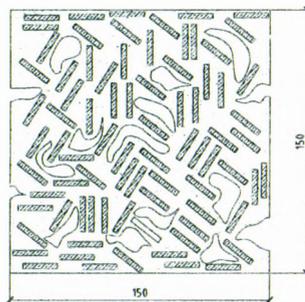
Как видно из таблицы 1, при неизменной плотности (550 кг/м³) прочность при использовании традиционных методов до 70% ниже, чем при использовании технологии колебательного уплотнения. При вертикальном расположении щепы прочность на 20 % выше, чем при горизонтальном.

Эффект повышения прочностных показателей арболита с направленной укладкой заполнителя можно объяснить используя положения механики композиционных материалов.

В работе [5] приведена феноменологическая модель – композит с заполнителем в виде коротких волокон с беспорядочной ориентацией (рисунок 1).



а



б

а – фото; б – модель

Рисунок 1 – Композит с заполнителем в виде коротких волокон

Как видно из рисунка 1, матрица не является непрерывной средой, поэтому построение полностью адекватной модели невозможно [5-11].

В монографии [5] предложена формула для расчёта разрушающей нагрузки такого композита:

$$P = \varepsilon \cdot (E_{\text{ср}} \cdot A_f + E_m \cdot A_m), \quad (1)$$

где ε – относительная деформация композита; $E_{\text{ср}}$ – средний модуль упругости заполнителя, МПа; A_f – площадь поперечного сечения заполнителя, мм²; E_m – модуль упругости матрицы, МПа; A_m – площадь поперечного сечения матрицы, мм².

Для традиционного арболита данная формула позволяет рассчитать величину разрушающей нагрузки при следующих значениях показателей: $\varepsilon = 0,3 \cdot 10^{-3}$ [12];

$E_{fcp} = 5,2 \cdot 10^3$ МПа (среднее значение между модулем упругости древесины вдоль и поперёк волокон); $A_f = 0,81 \cdot 10^4$ мм² (содержание древесины в арболите – 36%); $E_m = 19 \cdot 10^3$ МПа [12]; $A_m = 0,675 \cdot 10^4$ мм² (содержание цементного камня в арболите – 30%).

$$P = 0,3 \cdot 10^{-3} \cdot (5,2 \cdot 10^3 \cdot 0,81 \cdot 10^4 + 19 \cdot 10^3 \cdot 0,675 \cdot 10^4) = 5,11 \cdot 10^4 \text{ Н.}$$

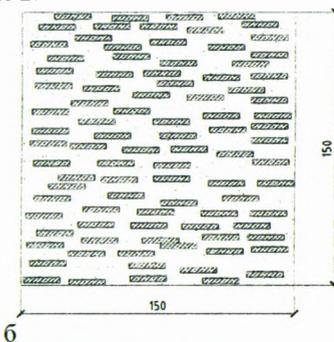
Разделив полученную разрушающую нагрузку на площадь поперечного сечения образца, получим показатель прочности арболита:

$$R = \frac{P}{A} = \frac{5,11 \cdot 10^4}{2,25 \cdot 10^4} = 2,27 \text{ МПа.}$$

Использование направленной укладки древесного заполнителя приводит к упорядоченному распределению в матрице частиц заполнителя. Феноменологическая модель арболита с направленной укладкой заполнителя (горизонтальная ориентация щепы) представлена на рисунке 2.



а



б

а – фото, б – модель

Рисунок 2 – Композит с заполнителем в виде однонаправленных волокон

В этом случае механизм разрушения при сжатии, в соответствии с положениями механики композиционных материалов, можно объяснить с позиции развития цилиндрических микротрещин на границе между заполнителем и матрицей. Источниками таких микротрещин являются разрушения частиц заполнителя, дефекты контактного слоя, а также места слабой адгезии технологического или эксплуатационного происхождения (начальные микротрещины).

В монографии [13] предложена формула для определения прочности на сжатие композита, разрушающегося по данному механизму:

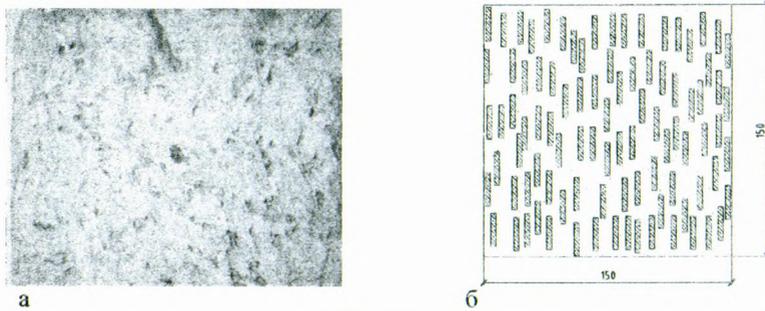
$$R = 2 \cdot v_f \cdot E_f \cdot \sqrt{\frac{\gamma_{fm} \cdot (1 + v_m) \cdot (1 - 2 \cdot v_m + v_f^{-1})}{r_0 \cdot E_m \cdot (v_m + v_f) \cdot (v_f^{-1} - 1)}}, \quad (2)$$

где v_f – коэффициент Пуассона заполнителя ($v_f = 0,02$ [6] – коэффициент Пуассона древесины поперёк волокон); E_f – модуль упругости заполнителя, МПа ($E_f = 400$ МПа [12] – модуль упругости древесины поперёк волокон); γ_{fm} – работа деформации в контактном слое, Н/мм (значение $\gamma_{fm} = 891$ Н/мм принято из монографии [14], как работа по продавливанию бруска через цементный кубик); v_m – коэффициент Пуассона матрицы ($v_m = 0,2$ [12] – коэффициент Пуассона цементного камня); r_0 – радиус заполнителя, мм ($r_0 = 6$ мм); E_m – модуль упругости матрицы, МПа ($E_m = 19 \cdot 10^3$ МПа [12] – модуль упругости цементного камня).

Подставив значения, приведённые выше для арболита с горизонтальной ориентацией заполнителя (нагрузка действует поперёк волокон) в формулу 2, получим показатель прочности арболита:

$$R = 2 \cdot 0,02 \cdot 400 \cdot \sqrt{\frac{891 \cdot (1+0,2) \cdot (1-2 \cdot 0,2+0,02^{-1})}{6 \cdot 19000 \cdot (0,2+0,02) \cdot (0,02^{-1}-1)}} = 3,36 \text{ МПа}.$$

Рассмотренная феноменологическая модель, позволяет оценить прочностные показатели арболита при использовании образцов с вертикальным расположением частиц заполнителя (рисунок 3).



а – фото, б – модель
Рисунок 3 – Композит с заполнителем в виде однонаправленных волокон

Данная модель будет отличаться от предыдущей тем, что нагрузка будет действовать вдоль волокон древесного заполнителя, и, соответственно, изменятся его характеристики (модуль упругости и коэффициент Пуассона).

Для заполнителя с вертикальной ориентацией изменятся значения следующих показателей: $\nu_f = 0,5$ [12] – коэффициент Пуассона древесины вдоль волокон; $E_f = 10000 \text{ МПа}$ [12] – модуль упругости древесины вдоль волокон; значение $\gamma_{fm} = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ Н/мм}$ принято из монографии [15], как работа по выдёргиванию бруса из цементного кубика. Подставив данные значения в формулу 2, получим показатель прочности арболита:

$$R = 2 \cdot 0,5 \cdot 10000 \cdot \sqrt{\frac{4,5 \cdot 10^{-3} \cdot (1+0,2) \cdot (1-2 \cdot 0,2+0,5^{-1})}{6 \cdot 19000 \cdot (0,2+0,5) \cdot (0,5^{-1}-1)}} = 4,19 \text{ МПа}.$$

На основании полученных по феноменологическим моделям значений прочностей можно сделать вывод о том, что прочность арболита с направленной укладкой заполнителя при вертикальной ориентации до 80 % выше, чем прочность традиционного арболита. При этом прочность арболита с вертикальной ориентацией заполнителя на 20 % выше, чем прочность арболита с горизонтальной ориентацией. Полученные экспериментальные данные при использовании конкретной шепы известного гранулометрического состава полностью согласуются с полученными теоретическими значениями. При этом обеспечен прирост прочности арболита с направленной укладкой заполнителя на 70 % в сравнении с традиционной технологией изготовления арболитовых образцов.

Положения теории механики разрушения композиционных материалов позволили обосновать механизм увеличения прочностных показателей арболита с направленной укладкой заполнителя, изготовленного по технологии колесательного уплотнения, по сравнению с традиционным арболитом.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ягубкин, А.Н. Оптимизация процесса уплотнения бетонной смеси при изготовлении арболита / А.Н. Ягубкин, В.В. Бозылев, Ю.П. Голубев // Вест. Полоцкого гос. ун-та. – Серия F: Прикладные науки. Строительство. – 2009. – № 12. – С. 61–68.
2. Ягубкин, А.Н. К вопросу подбора состава и дозировки добавок-модификаторов арболита / А.Н. Ягубкин, В.В. Бозылев // Вест. Полоцкого гос. ун-та. – Серия F: Прикладные науки. Строительство. – 2010. – № 6. – С. 84–89.
3. Ягубкин, А.Н. Влияние направления укладки заполнителя на прочностные и теплоизоляционные свойства арболита / А.Н. Ягубкин // Вест. Полоцкого гос. ун-та. – Серия F: Прикладные науки. Строительство. – 2011. – № 8. – С. 77–81.
4. Ягубкин, А.Н. Технология получения стеновых блоков из арболита с направленной укладкой заполнителя / А.Н. Ягубкин, В.В. Бозылев // Строительная наука и техника. – 2011. – № 6. – С. 66–69.
5. Фудзии, Т. Механика разрушения композиционных материалов / Т. Фудзии, М. Дзако. – М.: Мир, 1982. – 232 с., ил.
6. Вильдеман, В.Э. Механика неупругого деформирования и разрушения композиционных материалов / В.Э. Вильдеман, Ю.В. Соколкин, А.А. Ташкинов; под ред. Ю.В. Соколкина. – М.: Наука. Физматлит, 1997. – 288 с.
7. Победря, Б.Е. Механика композиционных материалов / Б.Е. Победря. – М.: Издательство Московского университета, 1984. – 336 с.
8. Справочник по композиционным материалам: в 2-х книгах / Под ред. Дж. Любина. – М.: Машиностроение, 1988. – 448 с.: ил.
9. Кристенсен, Р. Введение в механику композитов / Р. Кристенсен. – М.: Мир, 1982. – 334 с.
10. Алфутов, Н.А. Расчёт многослойных пластин и оболочек из композиционных материалов / Н.А. Алфутов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1984. – 264 с.
11. Немировский, Ю.В. Прочность элементов конструкций из композиционных материалов / Ю.В. Немировский, Б.С. Резников. – Новосибирск: Наука, 1986. – 166 с.
12. Наназашвили, И.Х. Строительные материалы из древесно-цементной композиции / И.Х. Наназашвили. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Стройиздат, 1990. – 415 с.: ил.
13. Черепанов, Г.П. Механика разрушения композиционных материалов. – М.: Наука. Физматлит, 1983. – 296 с.
14. Бухаркин, В.И. Использование древесных отходов для производства арболита / В.И. Бухаркин [и др.]. – М.: Стройиздат, 1973. – 432 с.
15. Кауфман, Б.Н. Цементный фибролит / Б.Н. Кауфман [и др.]; под общ. ред. Б.Н. Кауфмана. – М.: ГСИ, 1961. – 159 с.