

УДК 666.973.2

ОБОСНОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АРБОЛИТА С НАПРАВЛЕННОЙ УКЛАДКОЙ ЗАПОЛНИТЕЛЯ

А.Н. ЯГУБКИН, канд. техн. наук, доц. В.В. БОЗЫЛЕВ
(Полоцкий государственный университет)

Представлена технология получения модифицированного арболита с направленной укладкой заполнителя. Для её реализации получена добавка-модификатор арболитовой смеси Арбел, которая позволяет снизить влияние вредных веществ, находящихся в древесном заполнителе и при этом получить изделия с более низкой эксплуатационной влажностью, не подверженные сульфатной коррозии. Разработан метод колебательного уплотнения арболитовой смеси, обеспечивающий направленную укладку древесного заполнителя в арболите, снижающий дефекты структуры и повышающий прочность до 70 % по сравнению с традиционным арболитом. С помощью теории механики разрушения композиционных материалов выполнено обоснование механизма повышения прочностных показателей арболита с направленной укладкой заполнителя. Для традиционного арболита использовалась такая феноменологическая модель, как композит с заполнителем в виде коротких волокон с беспорядочной ориентацией; для арболита с направленной укладкой заполнителя – композит с заполнителем в виде однонаправленных волокон (горизонтальная и вертикальная ориентация древесного заполнителя).

Введение. Изделия из древесно-цементных композиций считаются эффективными строительными материалами, 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, а 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.

Основная часть. 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 колебательного уплотнения были изготовлены и испытаны арболитовые образцы (таблица).

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 (рис. 1).

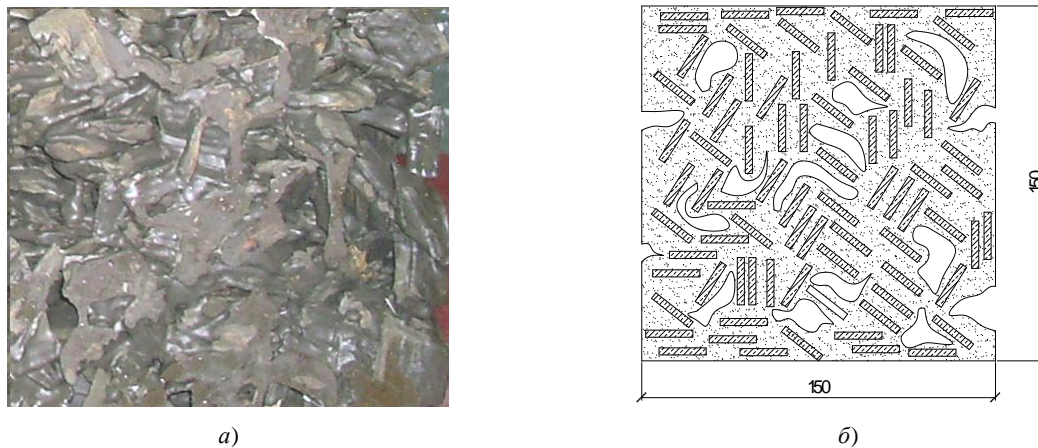


Рис. 1. Композит с наполнителем в виде коротких волокон:
а – фотоснимок; б – модель

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:

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

где ε – относительная деформация композита; E_{fcp} – средний модуль упругости наполнителя, МПа; A_f – площадь поперечного сечения наполнителя, 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 наполнителя приводит к упорядоченному распределению в матрице частиц наполнителя. Феноменологическая модель арболита с направленной укладкой наполнителя (горизонтальная ориентация щепы) представлена на рисунке 2.



Рис. 2. Композит с наполнителем в виде однонаправленных волокон:
а – фотоснимок; б – модель

В этом случае механизм разрушения при сжатии в соответствии с положениями механики композиционных материалов можно объяснить с позиции развития цилиндрических микротрещин на границе между наполнителем и матрицей. Источниками таких микротрещин являются разрушения частиц наполнителя, 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:

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

где ν_f – коэффициент Пуассона наполнителя ($\nu_f = 0,02$ [6] – коэффициент Пуассона древесины поперёк волокон); E_f – модуль упругости наполнителя, 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); ν_m – коэффициент Пуассона матрицы ($\nu_m = 0,2$ [12] – коэффициент Пуассона цементного камня); r_0 – радиус наполнителя, 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 наполнителя (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 наполнителя (рис. 3).



Рис. 3. Композит с наполнителем в виде однонаправленных волокон
а – фотоснимок; б – модель

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

Для наполнителя с вертикальной ориентацией изменятся значения следующих показателей: $\nu_f = 0,5$ [12] – коэффициент Пуассона древесины вдоль волокон; $E_f = 10000$ МПа [12] – модуль упругости древесины вдоль волокон; значение $\gamma_{fm} = 4,5 \cdot 10^{-3}$ Н/мм принято из монографии [15] как работа по выдёрыванию бруска 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 наполнителя при вертикальной ориентации до 80 % выше, чем прочность традиционного арболита. При этом прочность арболита с вертикальной ориентацией наполнителя на 20 % выше, чем прочность арболита с горизонтальной ориентацией.

Полученные экспериментальные данные при использовании конкретной щепы 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.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Ягубкин, А.Н. Оптимизация процесса уплотнения бетонной смеси при изготовлении арболита / А.Н. Ягубкин, В.В. Бозылев, Ю.П. Голубев // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф. 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 // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф. 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 // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф. 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.
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.: Изд-во Моск. ун-та, 1984. – 336 с.
8. Справочник по композиционным материалам: в 2-х кн. / под ред. Дж. Любина. – М.: Машиностроение, 1988. – 448 с.
9. Кристенсен, Р. Введение в механику композитов / Р. Кристенсен. – М.: Мир, 1982. – 334 с.
10. 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.
13. Черепанов, Г.П. Механика разрушения композиционных материалов / М.: Наука. Физматлит, 1983. – 296 с.
14. Использование древесных отходов для производства арболита / В.И. Бухаркин [и др.]. – М.: Стройиздат, 1973. – 432 с.
15. Цементный фибролит / Б.Н. Кауфман [и др.]; под общ. ред. Б.Н. Кауфмана. – М.: ГСИ, 1961. – 159 с.

Поступила 25.05.2012

BACKGROUND OF THE MECHANISM OF INCREASING STRENGTH INDICES ARBOLIT WITH THE DIRECTION IN FILLER

A. YAGUBKIN, V. BOZYLEV

In Polotsk State University developed a technology for producing the modified arbolit directional stacking aggregate. To implement the technology developed by addition of a modifier mixture arbolit Arbel, which reduces the effect of harmful substances in the wood filler and still get the product at a lower operating humidity is not exposed to sulphate corrosion have developed a method of vibrational compaction arbolit mixture, which provides the direction in wood placeholder in the Arbolit, reduces defects and improves the durability of the structure up to 70 % compared to the traditional arbolit. Using the theory of fracture mechanics of composite materials is justified mechanism to increase the strength of directional indicators arbolit packing filler. We used the following phenomenological model: for the traditional arbolit – a composite with a filler in the form of short fibers with random orientation, for directional laying arbolit filler – filler composite with unidirectional fibers in the form of (horizontal and vertical orientation of the wood filler).