

УДК 691: 676.034

**ВЛИЯНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ БАМБУКА НА ПРОЧНОСТНЫЕ И ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ СТЕНОВОГО МАТЕРИАЛА****А.В. ДОЛЖОНОК, С.А. РОМАНОВСКИЙ***(Представлено: канд. техн. наук, доц. А.А. БАКАТОВИЧ,  
канд. техн. наук, доц. Н.В. ДАВЫДЕНКО)*

*Представлены результаты исследований по разработке стенового материала содержащего в качестве крупного заполнителя дробленый бамбук. Проанализированы показатели прочности, плотности и теплопроводности полученных образцов. Выполнена электронная микроскопия крупного заполнителя. Рассмотрено влияние микроструктуры бамбука на теплофизические и прочностные характеристики стенового материала.*

В последние годы растет интерес к использованию природного растительного сырья в качестве заполнителя для композитных материалов. С повышением требований по энергосбережению и экономии природных ресурсов возрастает целесообразность использования экологически чистых альтернативных материалов. Значительный интерес вызывает применение бамбука, в качестве заполнителя для стеновых материалов. Учитывая соответствующие механические показатели, быструю возобновляемость и низкую стоимость, бамбук может являться реальной альтернативой традиционным растительным заполнителям, применяемым для производства арболита.

Бамбук относится к роду многолетних вечнозеленых растений семейства Злаки. Растет в основном в тропических и субтропических регионах Азии, особенно распространен во влажных тропиках [1]. Ствол бамбука представляет собой композиционный материал, состоящий из длинных и параллельных целлюлозных волокон, проросших в одревесневшей матрице. Интегрированная структура бамбука помогает выдерживать экстремальную природную среду, включая ветровые нагрузки, и представляет собой уникальный пример однонаправленного армированного волокном композита [2].

Ученые Массачусетского технологического института вместе с архитекторами и деревообрабатывающими компаниями из Англии и Канады ищут способы переработки бамбука в строительный материал, более похожий на древесные композиты. Задача исследования состоит в том, чтобы нарезать стебель бамбука на мелкие фрагменты, а затем соединять их вместе, для формирования прочных блоков. Структурный продукт такого рода предназначен для возведения более устойчивых зданий, особенно в таких странах, как Китай, Индия и Бразилия, где произрастает бамбук [3].

Для проведения исследований физико-механических свойств стеновых материалов на основе бамбука в лаборатории кафедры строительного производства изготавливали образцы - кубы размером 150×150×150 мм (рис. 1).

Результаты исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Физико-механические характеристики стенового материала

№ состава	Расход компонентов на 1 м <sup>3</sup> , массовая доля							Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность, МПа	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)
	Бамбук				Опилки	Цемент	Вода			
	крупная фракция		мелкая фракция							
шероховатая фактура	гладкая фактура	шероховатая фактура	гладкая фактура							
1	-	0,36	-	-	-	0,41	0,23	660	0,8	0,16
2	0,36	-	-	-	-	0,41	0,23	660	1,2	0,16
3	-	0,24	-	-	0,12	0,29	0,35	800	1,4	0,13
4	0,24	-	-	-	0,12	0,29	0,35	800	1,6	0,13
5	-	-	-	0,35	-	0,4	0,25	660	1,2	0,16
6	-	-	0,35	-	-	0,4	0,25	660	1,7	0,16
7	-	-	-	0,25	0,11	0,29	0,35	800	1,9	0,13
8	-	-	0,25	-	0,11	0,29	0,35	800	2,3	0,13

При сопоставлении результатов испытаний образцов составов 1 и 2 на крупной фракции бамбука, установлено, что прочность на сжатие образца 2 возросла на 44%. Увеличение прочности обусловлено повышением адгезии цементного камня к шероховатой поверхности бамбука. Использование мелкой фракции бамбука с шероховатой поверхностью (состав 6) позволяет увеличить прочность на сжатие на 39 % по сравнению с составом 5 на мелкой фракции и гладкой фактурой. Анализ данных по образцам 1 и 5 показывает, что за счет дополнительного измельчения бамбука, несмотря на его гладкую фактуру, прочность воз-

растает на 53%. Повышение прочности происходит за счет увеличения геометрической площади боковых граней с шероховатой поверхностью, образующихся при расщеплении вдоль волокон в процессе получения мелкой фракции бамбука. Аналогичная зависимость отмечается и для составов 2, 6 с шероховатой поверхностью. Так, для состава 6 прочность возрастает на 48% по сравнению с составом 2.

Для заполнения пустот каркаса из дробленого бамбука вводили древесные опилки, обладающие высокой теплоизолирующей способностью. Поэтому, несмотря на увеличение плотности стенового материала с 660 до 800 кг/м<sup>3</sup> за счет введения опилок, произошло снижение коэффициента теплопроводности с 0,16 до 0,13 Вт/(м·°С). Кроме того, присутствие древесных опилок повысило связность структуры композитного материала, что повлияло на прочность при сжатии. При анализе данных испытаний составов 1–4 на крупной фракции бамбука, установлено, что введение опилок обеспечивает увеличение прочности стенового материала на 33–75% независимо от фактуры поверхности крупного заполнителя. Такая же зависимость прослеживается и для составов 5–8 на мелкой фракции бамбука, где присутствие опилок позволяет повысить прочность на 35–58%.

Выполнение комплекса технических решений связанных с введением опилок в качестве мелкого заполнителя, обработкой поверхности стволов для придания шероховатости и применением мелкой фракции бамбука оказывает существенное влияние на физико-механические характеристики стенового материала. В результате при увеличении плотности на 21%, повышается прочность на сжатие стенового материала в 2,9 раза и уменьшается коэффициент теплопроводности на 0,03 Вт/(м·°С). Стеновые материалы на основе бамбука возможно использовать в виде блоков для кладки стен, а также при возведении монолитных стен из смеси, изготавливаемой непосредственно на объектной строительной площадке.



Рисунок 1. – Внешний вид образца стенового материала на основе бамбука и опилок

Для установления факторов, обуславливающих прочностные и теплотехнические характеристики стенового материала, изучена структура крупного заполнителя – дробленого бамбука с применением микроскопии. В процессе исследования получены изображения внешней поверхности бамбука, поперечных и продольных срезов с использованием сканирующего электронного микроскопа «JSM-5610 LV».

Покровный наружный слой (рис. 2) представляет собой эпидермис, содержащий волокна, по всей окружности стебля, связанных лигнином, и имеющих довольно толстые стенки. Наружные волокна уплотняются в процессе роста бамбука, и в тоже время их больше по количеству, чем во внутренней части. Поверхность наружного слоя покрыта восковым налетом. Кроме того, в области «а» волокна более уплотнены, чем в области «б» и формируют ровную практически гладкую поверхность. Плотное расположение волокон в области «а» внешней поверхности дополнительно ухудшает адгезию с цементным камнем, что объясняет уменьшение прочности материала на 17–29% (составы 5, 6 и 7, 8, таблица 1), в сравнении с образцами содержащих бамбук с шероховатой поверхностью.

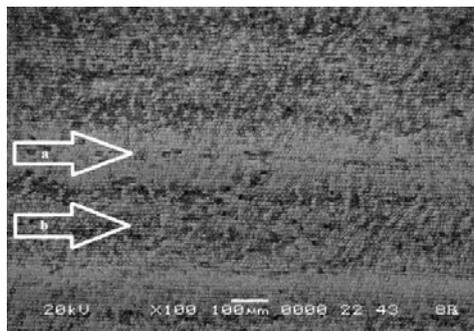
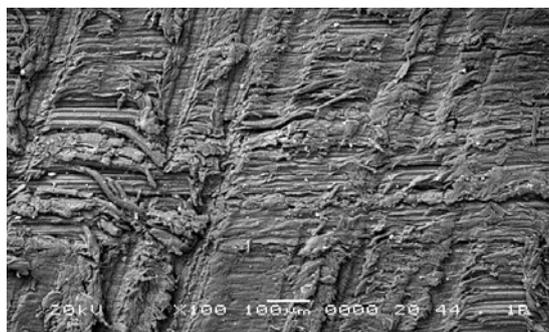


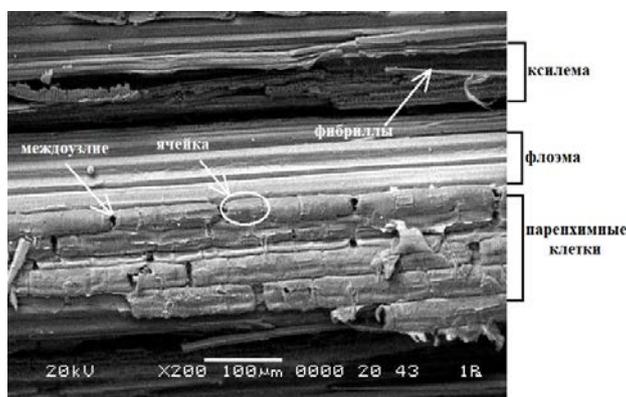
Рисунок 2. – Электронная микроскопия гладкой внешней поверхности бамбука (увеличение 100 крат)

Для обеспечения шероховатости с помощью наждачного абразива удаляли наружный покрывной слой с восковым налетом, и получали поверхность в виде оголенной волокнистой структуры с нарушенной целостностью строения эпидермиса. На микроснимке (рис. 3) отчетливо выражена рельефная бороздчатая структура с возросшим количеством пиков и впадин, в следствии удаления поверхностного слоя и нарушения целостности строения волокон. Глубина образовавшихся борозд, как в продольном, так и в поперечном направлении, достигает 20-30 мкм. Соответственно повышается адгезия бамбука, как крупного заполнителя с цементным камнем, что положительно влияет на прочностные характеристики стенового материала.



**Рисунок 3.** – Электронная микроскопия шероховатой поверхности бамбука (увеличение 100 крат)

На продольном разрезе (рис. 4) четко различима область паренхимных клеток длиной 50-70 мкм. В междоузлиях клетки ячейки ориентированы в осевом направлении. Все структурные области бамбука взаимодействуют друг с другом и играют определенную роль в укреплении и усилении материала. Стенки бамбуковых волокон обладают пластичностью, что увеличивает устойчивость материала к разрушению при воздействии внешних нагрузок.



**Рисунок 4.** – Электронная микроскопия продольного среза бамбука (увеличение 200 крат)

Сосудистые пучки на торцевом срезе бамбука (рис. 5, 6), находящиеся вблизи гиподермиса тесно запакованы и слабо просматриваются. В каждом пучке имеются две области - ксилема и флоэма. В ксилеме есть два сосуда (кольцевой, спиральный) диаметром 50-70 мкм, а в флоэме полость, предназначенная для пропускания питательных веществ. Сосуды и полость расположены в форме «У» и окружены сплошной структурой клеток склеренхимы. К внешней области сосуды становятся эллиптическими, а к центру наоборот округляются. За счет большого количества волокон и их плотного расположения в гиподермисе обеспечиваются высокие прочностные показатели бамбука, как строительного материала.

Паренхимные клетки имеют пятиугольную форму в поперечном сечении и образуют сотовую структуру. Размер клеток в поперечном направлении составляет 20-60 мкм. Таким образом паренхимные клетки можно рассматривать в виде ячеек, имеющих форму правильной пятигранной призмы. По своим размерам образующиеся призмы близки к ячеистой структуре пенополистирола и препятствуют передаче тепла или холода, т.е. обеспечивают изолирующие свойства бамбука. Каждая стенка ячейки бамбукового волокна обладает уникальной многослойной конфигурацией, где каждый слой армирован целлюлозными

фибрами под разными углами. Такая структура определяет механические свойства волокон и вносит вклад в прочность бамбуковой матрицы.

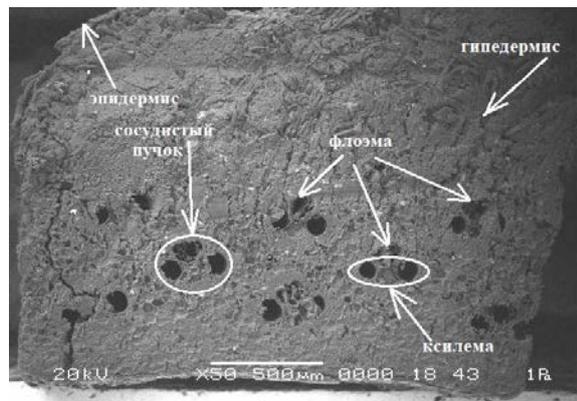


Рисунок 5. – Электронная микроскопия торцевого среза бамбука (увеличение 20 крат)

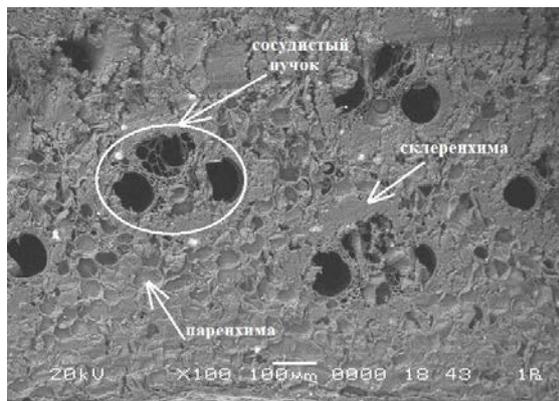


Рисунок 6. – Электронная микроскопия торцевого среза (увеличение 100 крат)

Бамбуковое волокно обладает многими преимуществами, такими как высокая прочность, технологичность, стойкость к гниению, антисептическим действием, по сравнению с другими природными растениями. Проведенный анализ микроструктуры бамбука подтвердил повышение адгезии цементного камня с бамбуком (шероховатая фактура), за счет удаления наружного покрывного слоя, включая восковый налет. Сотовое расположение паренхимных клеток, а также наличие проводящих сосудистых пучков в структуре волокон бамбука, повышает теплотехнические свойства стенового материала. Основной областью применения стенового материала на основе бамбука является возведение стеновых ограждений на высоту одного этажа до 3 м. Стеновой материал на основе бамбука возможно использовать в виде блоков для кладки стен, а также при возведении монолитных стен из арболитовой смеси изготовленной непосредственно на объектной строительной площадке. При этом стеновой материал из бамбука выполняет не только функцию стенового ограждения, но и одновременно обеспечивает высокие звуко- и теплоизолирующие свойства наружных стен, что также актуально для стран с теплым климатом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Интернет портал [Электронный ресурс] / Злаки. – Режим доступа: <http://www.board74.ru/drevesina/92474352.html>. – Дата доступа: 29.09.2017.
2. Ray, A.K. Microstructural characterization of bamboo / A.K. Ray, S.K. Das, S. Mondal // Journal of material science. – 2004. – № 39. – P. 1055–1060.
3. Интернет портал [Электронный ресурс] // Researchers study bamboo for engineered building material. – Режим доступа: <https://phys.org/news/2014-07-bamboo-material.html>. – Дата доступа: 02.10.2017.

: