

Физико-механические характеристики бамбука как строительного материала

Сун Сюаньчжэнь¹, Х.М. Муселемов², Д.У. Муселемов², И.А. Маяцкая¹

¹Донской государственный технический университет,
Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону

²Дагестанский государственный технический университет,
Российская Федерация, г. Махачкала

Аннотация: Бамбук как строительный материал имеет свои особенности. Он хорошо работает на растяжение, и при изгибе. Бамбук имеет только продольные волокна, которые склонны к расщеплению, однако эти волокна скручены в узле. Это явление снижает прочность на разрыв. Механические свойства бамбука описывают его реакцию на физические воздействия. В целом бамбук обладает высокой прочностью при растяжении параллельно волокнам. В данной статье описаны механические свойства бамбукового стержня в зависимости от нагрузок. Даются также модули упругости различных видов бамбука. Бамбук обладает множеством преимуществ, которые соответствуют большинству критериев устойчивого материала. В настоящее время имеются великолепные бамбуковые здания, сделанные из бамбуковых шестов. В статье также приведена классификация конструкций из бамбуковых столбов. Бамбук можно использовать во всех частях здания как в качестве структурных, так и архитектурных элементов, он может стоять отдельно или в сочетании с другими материалами. Данная статья обобщает опыт строительства зданий из бамбуковых элементов.

Ключевые слова: бамбук, волокна, узел, соединение, прочность, строительство, деформации, растяжение, механические свойства, анизотропный материал.

История бамбука как строительного материала, вероятно, так же стара, как и человеческая цивилизация [1-3]. Бамбук играет важную роль и широко используется для удовлетворения многих человеческих потребностей, включая жилье. Преимущества бамбука как строительного материала не заканчиваются его доступностью [4]. Среди самых простых в работе материалов бамбук обеспечивает все необходимое для строительства дома, от каркасов (бамбуковый шест, раскол), покрытий зданий (бамбуковый коврик, раскол), полов (бамбуковый щит), крыш (бамбуковая черепица) или даже соединителей (бамбуковый штифт, веревка) [5,6]. Основным недостатком бамбука как строительного материала является его низкая сопротивляемость к насекомым (жукам, сверлильщикам или термитам, грибкам и разлагающим бактериям). По мнению Янсена, он может прослужить только 10-15 лет в идеальном состоянии, без консервантов [1].

Поэтому он уступает другим материалам, таким как дерево, кирпич и бетон, и его социальный статус крайне низок. В регионе, где он растет, бамбук считается «древесиной бедняков» и является временным решением для недорогого самостоятельного жилья, пока люди не будут экономически способны заменить его другим долговечным материалом. Этот недостаток долговечности приводит к отсутствию доказательств традиционного бамбукового строительства в полевых условиях, и, что еще больше, приводит к ограничению развития методов соединения в сообществе, которые передаются из поколения в поколение.

Благодаря новым технологиям [7] сохранения и строительства можно построить более прочные или даже долговечные бамбуковые конструкции с лучшими характеристиками. В дополнение к росту осведомленности об устойчивости, бамбук широко используется в последние годы в качестве основного строительного материала для жилья, мостов, общественных зданий. Среди целей огромного использования бамбука — максимизация применения самовосстанавливающихся природных ресурсов, минимизация использования высокоэнергоемких материалов и в качестве углеродных ловушек. Помимо бамбуковых шестов, использование бамбука в качестве строительного материала расширяется, по крайней мере, до ламинированного бамбука и бамбуковых композитов. В конструкциях бамбуковых шестов, после того как проблема долговечности решена, основные проблемы переходят к соединениям. Соединение бамбука между собой или с другими материалами является самой сложной частью в бамбуковом строительстве по нескольким причинам, таким как различия в его свойствах и размерах, форма полого конуса. Бамбук обладает высокой прочностью на разрыв, но не хватает соединений, которые могли бы максимально использовать эту прочность. Исследования и разработки по бамбуковому соединению крайне необходимы для расширения использования бамбука. Внедрение болтовых

соединений, которые ранее использовались в деревянных конструкциях, приводит к широкому использованию бамбука в более крупных конструкциях, чем те, которые используют традиционные соединения. С помощью этих современных систем соединений можно одновременно сплотить много бамбуковых столбов, чтобы создать группу столбов в качестве больших колонн, высоких балок или многослойных рам для обслуживания больших пролетов или более высоких конструкций. Характеристики этих соединений приводят к особой архитектуре бамбука, с особым эстетическим внешним видом.

Бамбуковый шест четко характеризуется наличием узла вдоль его конических стеблей как визуально, так и структурно. Междоузлие является частью бамбука между двумя узлами. Узел является важным центром морфогенетической активности и интеркалярного роста, где появляются корни и ветви (Hidalgo-Lopez). Важными элементами в узле, касающимися бамбука как строительного материала, являются узловой гребень снаружи и диафрагма внутри. Наружный диаметр узлового гребня у некоторых видов бамбука значительно больше наружного диаметра междоузлия. В этом случае одним из примеров является *Guadua*, но у некоторых других видов разница не столь значительна, например, *Gigantochloa atrovioleacea* или *Gigantochloa pseudoarundinacea* [8,9].

Бамбук имеет только продольные волокна, которые склонны к расщеплению. Однако эти волокна довольно скручены в узле. С одной стороны, эта характеристика намного лучше предотвращает бамбук от этой проблемы, но с другой стороны, это явление снижает прочность на разрыв. Поэтому разрушение от растяжения почти всегда происходит в узле. Диафрагмы бамбука в узлах объединяют бамбуковую стену, таким образом, весь бамбуковый шест действует как единое целое. Функция аналогична диафрагме в строительной конструкции, которая передает горизонтальные


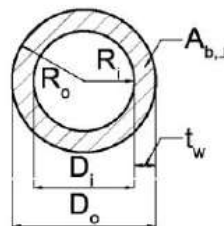
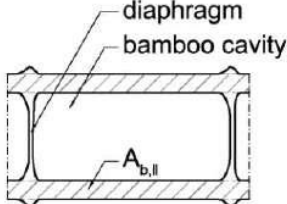
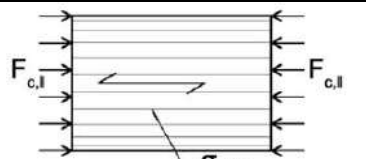
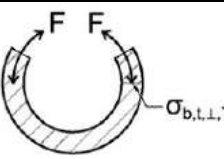
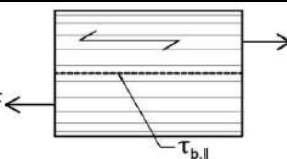
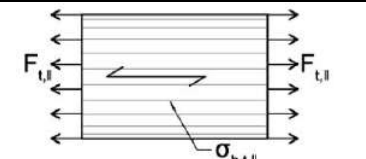
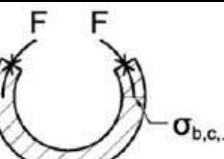
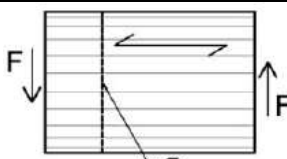
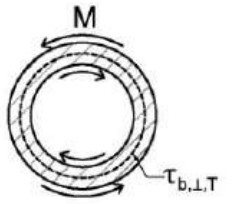
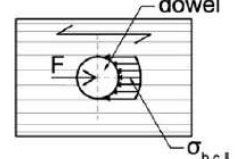
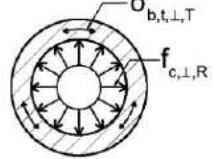
нагрузки на стену или раму. Диафрагма соединяет все вертикальные структурные элементы вместе. Диафрагмы также предотвращают деформации бамбука и делают его намного лучше, как балку. Разрушение из-за прогиба бамбуковой колонны при сжатии всегда происходит в междоузлии и никогда не происходит в узле из-за наличия диафрагмы. Диафрагмы делят полость бамбука на множество отдельных частей. В некоторых соединениях разделение полости ограничивают инъекцию в некоторые необходимые камеры.

Механические свойства бамбука описывают его реакцию на физические воздействия [4,10]. Бамбук - анизотропный материал. Свойства бамбука зависят от направления относительно волокон. Волокна идут в продольном направлении; хотя в области узла, как было сказано выше, они довольно скручены. Прочность бамбука на растяжение в этом направлении намного выше, чем в перпендикулярном к волокнам направлении. Как уже упоминалось ранее, бамбук является природным материалом. Как растение бамбук подвержен множеству постоянно меняющихся воздействий, таких как почва, вода, микро- и макроклимат. Таким образом, изменчивость свойств характерна для бамбука. В таблице №1 показаны факторы, влияющие на прочность бамбука и бамбуковых соединений, дополненные символами. В ней также показаны механические свойства бамбукового шеста при различных нагрузках. В целом бамбук обладает высокой прочностью при растяжении параллельно волокнам, как показано в таблице №2. Если учитывать соотношение прочности к весу, прочность бамбука на растяжение поразительно высока. Благодаря этому свойству бамбук получил название “растительной стали” (Трухильо). Прочность бамбука на растяжение зависит от наличия волокон. В бамбуковой мякоти волокна составляют примерно 40%. Остальные составляют 10% сосудов и 50% паренхимы. Сосуды для

транспортировки питательных веществ покрыты пучком волокон, который соединен с другими пучками паренхимой.

Таблица № 1

Механические свойства бамбукового стержня в зависимости от нагрузок, обусловленных конструкцией механических соединений

№п/п	Общая информация		
1	2	3	4
1	Поперечные и продольные сечения стержня		
	 <p>узел направление волокон толщина бамбука полость бамбука</p> <p>A. Направление волокон</p>	 <p>$A_{b,l}$ R_o R_i D_i D_o t_w</p> <p>В. Поперечное сечение бамбука</p>	 <p>diaphragm bamboo cavity $A_{b,l}$</p> <p>С. Продольный разрез</p>
2	Внутренние напряжения		
	 <p>$F_{c,l}$ $F_{c,l}$ $\sigma_{b,c,l}$</p> <p>D. Напряжение сжатия, параллельное волокнам</p>	 <p>F F $\sigma_{b,t,l,T}$</p> <p>Е. Напряжение тангенциального растяжения</p>	 <p>F F $\tau_{b,l}$</p> <p>Ф. Напряжение сдвига параллельно волокнам</p>
	 <p>$F_{t,l}$ $F_{t,l}$ $\sigma_{b,t,l}$</p> <p>Г. Напряжение растяжения параллельно волокнам</p>	 <p>F F $\sigma_{b,c,l,T}$</p> <p>Н. Касательное напряжение сжатия</p>	 <p>F F $\tau_{b,l}$</p> <p>И. Напряжение сдвига перпендикулярно волокнам</p>
3	Внешняя нагрузка, вызывающие внутреннее напряжение		
	 <p>M $\tau_{b,l,T}$</p> <p>Ж. Сдвиг при прокатке перпендикулярно волокнам</p>	 <p>dowel F $\sigma_{b,c,l}$</p> <p>К. Давление на опору, параллельное волокнам, предполагается постоянным</p>	 <p>$\sigma_{b,t,l,T}$ $f_{c,l,R}$</p> <p>О. Радиальное сжатие перпендикулярно волокнам</p>

Продолжение таблицы № 2

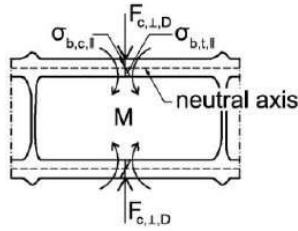
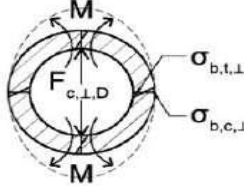
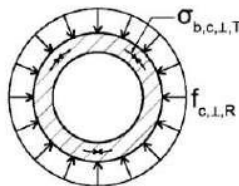
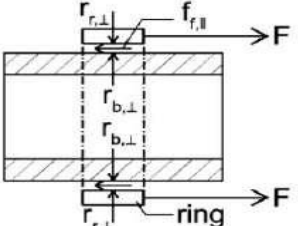
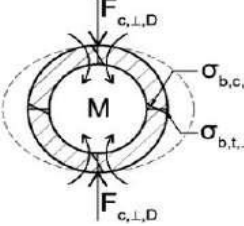
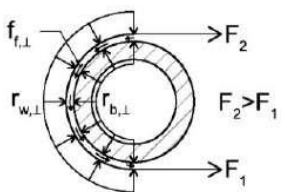
1	2	3	4
	 <p>М. Диаметральное сжатие перпендикулярно волокнам</p>	 <p>Н. Диаметральное сжатие + изгибающий момент</p>	 <p>О. Радиальное сжатие перпендикулярно волокнам</p>
	 <p>Р. Сила трения, параллельная волокнам</p>	 <p>Q. Диаметральное сжатие + изгибающий момент</p>	 <p>Р. Касательное трение</p>

Таблица № 2

Список исследований о прочности на растяжение многих видов бамбука

№ п/п	Исследовано ученым	Виды бамбука	Предельные напряжения (МПа)	Примечание
1	2	3	4	5
1	Von R. Bauman (1923)	<i>Phyllostachys nigra</i>	301	Наружный слой
			156	Внутренний слой
		<i>Arundinaria amabilis</i>	203	На всю толщину
			377	Наружный слой
2	Meyer & Ekelund (1923)	<i>Arundinaria tecta</i>	133	Внутренний слой
			100	Максимальный
3	Uno (1930)	<i>Phyllostachys bambusoides</i>	70	Максимум. Бамбуковая веревка из наружного слоя, скрученная в косу
			178	Средний, внутренний слой
			378	Средний, наружный слой

Продолжение таблицы № 2

1	2	3	4	5
3	Uno (1930)	<i>Phyllostachys nigra</i> <i>var. Henonis</i>	124	Средний, внутренний слой
			234	Средний, наружный слой
		<i>Phyllostachys</i> <i>pubescens</i>	88	Средний, внутренний слой
			291	Средний, наружный слой
		<i>Phyllostachys</i> <i>lithophila</i>	144	Средний, внутренний слой
			304	Средний, наружный слой
		<i>Dendrocalamus</i> <i>latiflorus</i>	84	Средний, внутренний слой
			299	Средний, наружный слой
		<i>Bambusa oldhamu</i>	205	Средний, внутренний слой
			452	Средний, наружный слой
		<i>Bambusa</i> <i>stenostachya</i>	187	Средний, внутренний слой
			301	Средний, наружный слой
<i>Bambusa vulgaris</i> <i>var. vittata</i>	197	Средний, внутренний слой		
	403	Средний, наружный слой		
4	Duff (1941)	<i>Phyllostachys</i> <i>pubescens</i>	54	Средний, внутренний слой
			342	Средний, наружный слой
5	Karamchandani (1959)	<i>Dendrocalamus</i> <i>strictus</i>	150	Минимальный внутренний слой
			160	Минимальный внутренний слой
			100	Минимальный наружный слой
			335	Максимальный, наружный слой
6.	Cox & Geymayer(1969)	<i>Arundinaria tecta</i>	110	Средний
7.	Atrops (1969)	<i>Phyllostachys nigra</i>	153	Средний, внутренний слой
			290	Средний, наружный слой (кожица)

Продолжение таблицы № 2

1	2	3	4	5
8.	Hidalgo (1978)	<i>Guadua angustifolia</i>	315	Максимум, верхняя часть бамбука, стебель полугодовой давности
			100	Минимум, 5-летняя выдержка
			296-314	1 год выдержки
9.	Sjafii (1984)	<i>Dendrocalamus giganteus</i>	187	Среднее, междоузлие, включающее 2 узла
		<i>Dendrocalamus asper</i>	209	
		<i>Gigantochloa robusta</i>	188	
		<i>Bambusa vulgaris var. striata</i>	130	
10.	Soeprayitno et al.(1988)	<i>Gigantochloa pseudoarundinacea</i>	178	Средний, бамбук со склона холма
			149	Средний, бамбук со дна долины
11.	Prawirohatmodjo (1988)	<i>Bambusa arundinacea</i> <i>Bambusa vulgaris</i> <i>Dendrocalamus asper</i>	297	Средний, зеленый бамбук
		<i>Gigantochloa apus</i> <i>Gigantochloa ater</i> <i>Gigantochloa verticillata</i>	315	Средний, сухой бамбук
12	Sharma (1988)	<i>Bambusa vulgaris</i>	145	Средний, бамбук с узлами
			200	Средний, бамбук в междоузлии (без узлов)
13.	Bodig et al. (1993)	<i>Phyllostachys edulis</i>	610	Волокно
			50	Матрица
			140-230	Композит
14.	Zhou (1994)	<i>Phyllostachys pubescens</i>	263	Средний, без узла
			213	Средний, без узла
15.	Li et al. (1995)	<i>Phyllostachys edulis</i>	34-220	Композит
16.	Ghavami & Moreira (1996)	<i>Dendrocalamus giganteus</i>	150	Средний
17.	Lopez & Silva (2000)	<i>Guadua angustifolia</i>	35	Средний
18.	Steffens (2000) Zhang (2001)	<i>Phyllostachys pubescens</i>	196	Средний
		<i>Guadua angustifolia</i>	140	Средний
19.	Ghavami (2004)	<i>Guadua angustifolia</i>	83	Средний, бамбуковый с узлами

Модуль упругости бамбука по сравнению с древесиной также довольно высок, особенно у чистого волокна. Различные уточненные значения этого свойства приведены в таблице №3 ниже.

Таблица №3

Модули упругости различных видов бамбука

№ п/п	Исследовано ученым	Виды бамбука	Модуль Юнга (МПа)	Примечание
1	2	3	4	5
1.	Uno (1930)	<i>Phyllostachys bambusoides</i>	21975	Средний, внутренний слой
			51345	Средний, наружный слой
		<i>Phyllostachys nigra var. Henonis</i>	20391	Средний, внутренний слой
			53926	Средний, наружный слой
		<i>Phyllostachys pubescens</i>	8367	Средний, внутренний слой
			33067	Средний, наружный слой
		<i>Phyllostachys lithophila</i>	22615	Средний, внутренний слой
			42092	Средний, наружный слой
		<i>Dendrocalamus latiforus</i>	12833	Средний, внутренний слой
			50116	Средний, наружный слой
		<i>Bambusa oldhamii</i>	28148	Средний, внутренний слой
			66416	Средний, наружный слой
		<i>Bambusa stenostachya</i>	26804	Средний, внутренний слой
			41984	Средний, наружный слой
		<i>Bambusa vulgaris var. vittata</i>	19339	Средний, внутренний слой
			65811	Средний, внутренний слой
2.	Cox & Geymayer (1969)	<i>Arundinaria tecta</i>	18670	Средний

Продолжение таблицы №3

1	2	3	4	5
3.	Soeprayitno et al. (1988)	<i>Gigantochloa pseudoarundinacea</i>	27631	Средний, бамбук со склона холма
			19643	Средний, бамбук со дна долины
4.	Sjafii (1984)	<i>Dendrocalamus giganteus</i>	14044	Среднее, междоузлие, включающее 2 узла
		<i>Dendrocalamus asper</i>	12875	Среднее, междоузлие, включающее 2 узла
		<i>Gigantochloa robusta</i>	9639	Среднее, междоузлие, включающее 2 узла
		<i>Bambusa vulgaris var. striata</i>	7473	Среднее, междоузлие, включающее 2 узла
5.	Bodig et al. (1993)	<i>Phyllostachys edulis</i>	46000	Волокно
			2000	Матрица
			1100-7000	Композит
6.	Ghavami & Moreira (1996)	<i>Dendrocalamus giganteus</i>	15000	Среднее
7.	Steffens (2000) Zhang (2001)	<i>Phyllostachys pubescens</i>	10500	Среднее
		<i>Guadua angustifolia</i>	19000	Среднее
8.	Torres et al. (2007)	<i>Phyllostachys pubescens</i>	1685±132	Окружные модули
		<i>Guadua angustifolia</i>	485±132	Окружные модули

В районе, где бамбук растет естественным образом, он всегда играет важную роль. Использование бамбука растет по мере развития цивилизации. Таким образом, многие виды деятельности человека невозможно отделить от существования этой гигантской травы. Одним из самых важных применений бамбука является строительство зданий. Считается, что бамбук был первым выбором в качестве строительного материала, когда люди начали заселять районы, где бамбук растет естественным образом. Распространенными причинами этого были его доступность и обрабатываемость. Из-за его недолговечности большинство людей через короткий промежуток времени заменили бамбук более прочными материалами, такими как древесина и кирпич. По словам Идальго, из-за низкой долговечности большинства видов

гигантского бамбука Юго-Восточной Азии в настоящее время большинство стран в этом районе не используют бамбук для строительства основной конструкции своих домов. В последние годы использование бамбука вновь обретает новую ценность [11,12]. Бамбук обладает множеством преимуществ, которые соответствуют большинству критериев устойчивого материала, особенно в качестве замены древесины для сокращения вырубки лесов. Это осознание сопровождалось огромным количеством исследований и применений бамбука. Бамбук использовался напрямую с минимальной подготовкой или после преобразования с помощью высокотехнологичных методов. В настоящее время имеются великолепные бамбуковые здания, сделанные из сохраненных бамбуковых шестов, а также роскошные интерьеры из ламинированного бамбука или слоистого бамбука. Народные бамбуковые конструкции также по-прежнему распространены в пригородных или сельских районах. В руках архитекторов и инженеров, бамбук становится перспективным материалом для создания самых разных типов зданий. Бамбук можно использовать во всех частях здания как в качестве структурных, так и архитектурных элементов [13-15]. Он может стоять отдельно или в сочетании с другими материалами (рис 1). Бамбук также можно просто трансформировать или высокотехнологично преобразовать для создания новых материалов. Благодаря особым характеристикам и свойствам, эти материалы можно использовать разными способами.

Выводы

Традиционные конструкции из бамбуковых столбов основаны на эмпирическом опыте. Главная особенность в бамбуковом строительстве заключается в компоновке узлов соединения отдельных стержней конструкций из бамбука. Некоторые соединения считаются «оригинальными бамбуковыми соединениями», которые не могут быть применены к другим

материалам. Примерами могут служить имеющиеся на сегодня здания из бамбука.

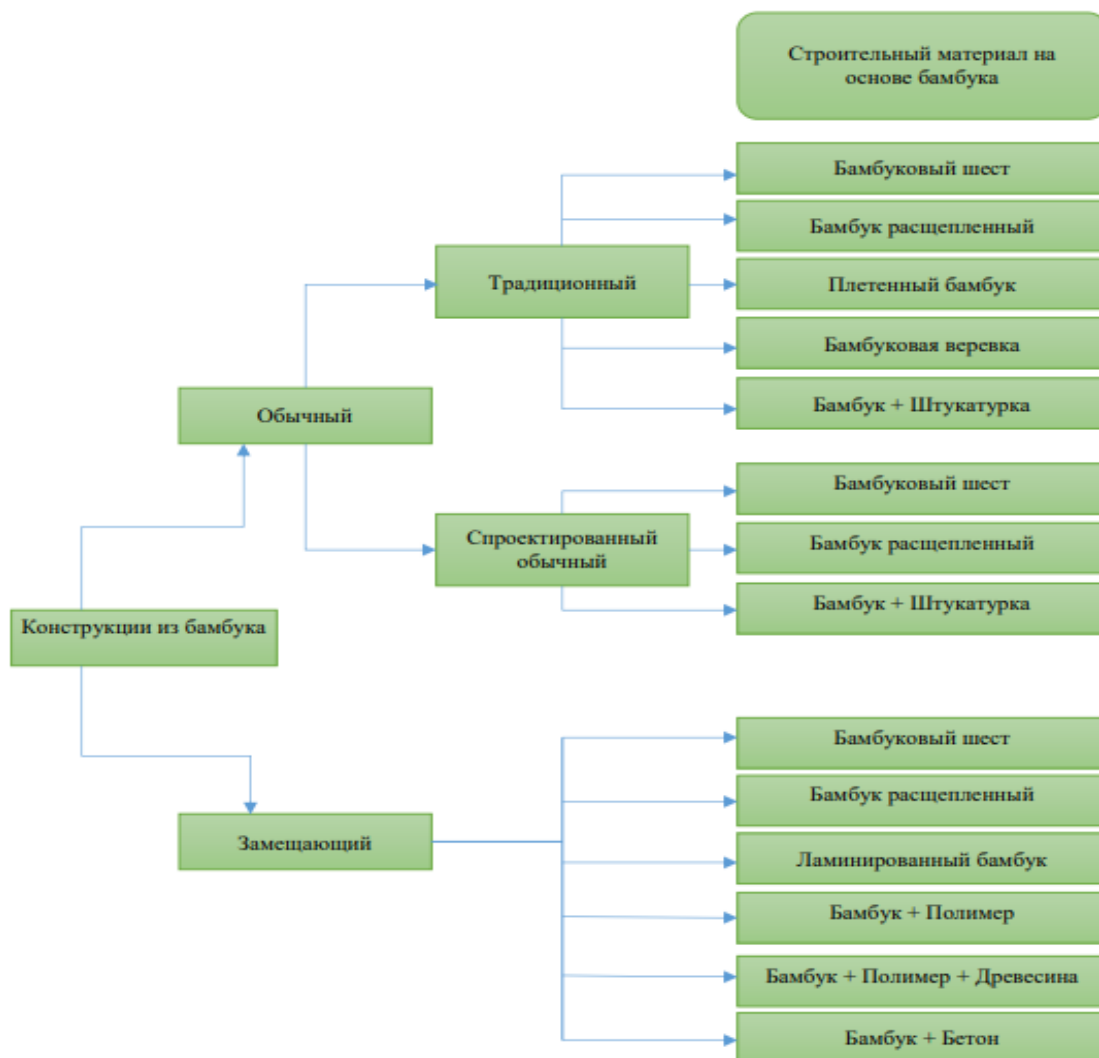


Рис. 1. – Классификация конструкций из бамбуковых столбов

Для обеспечения устойчивого положение одного бамбука конец другого бамбука обрезается, образуя форму седла или рыбьего рта с длинным язычковым ремнем. Этот ремень сгибается прямо над поперечным бамбуком и завязывается сзади. Наиболее распространенными соединениями в этой категории являются соединения типа «рыбьего рта».

Натяжные соединения считаются одним из самых древних видов бамбуковых соединений, которые обладают высокой эффективностью за счет

использования трения между бамбуком и веревкой. В большинстве случаев бамбук закрепляется штифтами, вогнутыми или имеющими форму рыбьего рта, что обеспечивает высокую прочность соединения. Из бамбука можно проектировать сооружения с самой сложной поверхностью, создавая удивительные и прочные объекты бамбуковой архитектуры.

Литература

1. Janssen J. J. A. Mechanical properties of bamboo. Springer. Science & Business Media, 2012. Vol. 37. p. 136.
2. Solanilla Medina Y.M. Architectural Design of Bamboo as an Ecological Alternative Material of the XXI Century // Architecture and Modern Information Technologies. 2018. № 1(42). pp. 201–211.
3. Витюк Е.Ю., Уморина Ж.Э. Природные технологии как новый принцип формообразования в архитектуре // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. № 4. С. 55–64. DOI: 10.31675/1607-1859-2018-20-4-55-64.
4. Li H., Shen S. The Mechanical Properties of Bamboo and Vascular Bundles // Journal Materials Research. 2011. pp. 2749–2756.
5. Trujillo D. Bamboo Structures in Colombia // The Structural Engineer. 2007. № 1. pp. 25–30.
6. Zea Escamilla E. et al. Bamboo: An engineered alternative for buildings in the global south // Bioclimatic Architecture in Warm Climates: A Guide for Best Practices in Africa. 2019. pp. 397–414.
7. Sebestyen G. New architecture and technology. Routledge. 2007. p. 190.
8. López L., Correal J. Exploratory Study of the Glued Laminated Bamboo *Guadua Angustifolia* as a Structural Material. Maderas // Ciencia y tecnología. 2009. Vol. 11. № 3. pp. 171–182.

9. Luna P., Takeuchi C., Cordón E. Mechanical Behavior of Glued Laminated Pressed Bamboo Guadua using Different Adhesives and Environmental Conditions // *Engineering Materials*. 2014. Vol. 600. pp. 57–68.
10. Da Silva V. D. *Mechanics and strength of materials*. Springer Science & Business Media. 2005. p. 529.
11. Obermann T. M., Laude R. Bamboo poles for spatial and light structures // *Bamboo-Space Research Project-reference*. 2004. № 166_OB.
12. Hidalgo O. *Bamboo, The Gift of the Gods*. O. Hidalgo Lopez. 2013. 221 p.
13. Соланилья Медина Й. М., Шувалов В. М. Большепролетные конструкции из бамбука в современной архитектуре // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Вып. 52(71). С. 52—60.
14. Revian Nathanael W., Maurina A. Impacts of long-span bamboo structure towards architecturalspatial experience // *SICEST*. 2016. URL: [10.1051/mateconf/201710105024](https://doi.org/10.1051/mateconf/201710105024).
15. Соланилья Медина Й. М. Архитектурное проектирование из бамбука как экологического альтернативного материала XXI века // *Architecture and Modern Information Technologies*. 2018. № 1(42). pp. 201—211. URL: marhi.ru/AMIT/2018/1kvart18/15_solanilla_medina/index.php

References

1. Janssen J. J. A. *Mechanical properties of bamboo*. Springer. Science & Business Media, 2012. Vol. 37. p. 136.
 2. Solanilla Medina Y.M. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2018. № 1(42). pp. 201–211.
 3. Vityuk E.Yu., Umorina Zh.E. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2018. Iss. 4. pp. 55–64. DOI: [10.31675/1607-1859-2018-20-4-55-64](https://doi.org/10.31675/1607-1859-2018-20-4-55-64).
 4. Li H., Shen S. *Journal Materials Research*. 2011. pp. 2749–2756.
-



5. Trujillo D. The Structural Engineer. 2007. Iss. 1. pp. 25–30.
6. Zea Escamilla E. et al. Bioclimatic Architecture in Warm Climates: A Guide for Best Practices in Africa. 2019. pp. 397–414.
7. Sebestyen G. New architecture and technology. Routledge. 2007. p. 190.
8. López L., Correal J. Ciencia y tecnología. 2009. Vol. 11. iss. 3. pp. 171–182.
9. Luna P., Takeuchi C., Cordón E. Engineering Materials. 2014. Vol. 600. pp. 57–68.
10. Da Silva V. D. Mechanics and strength of materials. Springer Science & Business Media. 2005. p. 529.
11. Obermann T. M., Laude R. Bamboo-Space Research Project-reference. 2004. № 166_OB.
12. Hidalgo O. Bamboo, The Gift of the Gods. O. Hidalgo Lopez. 2013. 221 p.
13. Solanil'ya Medina I. M., Shuvalov V. M. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura 2018, iss. 52(71), pp. 52–60.
14. Revian Nathanael W., Maurina A. SICEST. 2016. URL: [10.1051/matecconf/201710105024](https://doi.org/10.1051/matecconf/201710105024).
15. Solanil'ya Medina I. M. Architecture and Modern Information Technologies. 2018. № 1(42). Pp. 201–211. URL: marhi.ru/AMIT/2018/1kvart18/15_solanilla_medina/index.php

Дата поступления: 26.10.2024

Дата публикации: 10.12.2024