

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ BUILDING CONSTRUCTIONS, BUILDINGS AND ENGINEERING STRUCTURES



УДК 624.011.78

Оригинальное эмпирическое исследование

<https://doi.org/10.23947/2949-1835-2026-5-1-104-114>

Несущая способность соединений из бамбука и их применение в ферменных конструкциях

Сюаньчжэнь Сун¹, Х.М. Муселемов², А.Н. Бескопыйный³ ✉

¹ Донской институт, Шаньдунский транспортный университет, г. Цзинань, провинция Шаньдун, Китайская народная республика

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

³ Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

✉ abeskopylnii@donstu.ru



EDN: VCEHEZ

Аннотация

Введение. Конструкции из бамбука получили широкое распространение в странах Азии, Африки, Латинской Америки. Бамбук представляет собой градиентный материал с неодинаковыми свойствами по поперечному сечению и характерной анизотропией: хорошими свойствами в продольном и слабыми поперечном направлениях. В связи с этим соединения бамбуковых стержней представляет слабое место в конструкции, что является научной проблемой. В современной литературе показана недостаточная эффективность различных типов соединений бамбуковых стержней, что приводит к прогрессирующему обрушению конструкции. Выявленные пробелы в существующих исследованиях позволили сформулировать цель настоящей статьи: разработка новых типов соединений стержней бамбука для обеспечения безопасной и надежной работы ферменной конструкции.

Материалы и методы. Объектом исследования является ферменная конструкция из бамбука с толщиной стенки не менее 10 мм. Расчет ферм проводился по усовершенствованным методам вырезания узлов, подбора сечений и построения линий влияния.

Результаты исследования. Предложена новая конструкция соединения бамбуковых стержней в пространственном случае. Усовершенствованный пространственный шарнир представляет собой цельную стальную сферу горячейковки с 18 резьбовыми отверстиями и обработанной опорной поверхностью под углами 45°, 60° и 90° относительно друг друга. На каждом конце элемента пространственной конструкции прикрепляется коническая стальная секция для передачи усилия от бамбуковых соединений к узловым соединениям. Благодаря такому сужающемуся конусообразному сечению узловые соединения могут быть соединены со многими элементами одновременно. Проведен расчет фермы пешеходного моста при различных вариантах приложения нагрузки. Показано, что предложенный тип соединения обеспечивает эффективную работу пространственной конструкции. Реальный коэффициент надежности 2,33 превосходит традиционное значение на 29 %.

Обсуждение и заключения. Предложенные варианты обеспечения надежного соединения бамбуковых стержней имеют большое значение при проектировании и строительстве бамбуковых ферменных конструкций пространственного типа. Сферический шарнир и конусное крепление с металлическим тросом создают надежное соединение, что имеет решающее значение для конструкций мостового типа или жилых помещений. Перспективы настоящей работы сосредоточены на исследовании эффективности предложенных соединений в динамических задачах в условиях движущейся нагрузки и ползучести.

Ключевые слова: бамбук, ферма, соединение бамбуковых стержней, пешеходный мост

Благодарности. Авторы благодарят руководителя научного проекта д.т.н., профессора Д.Р. Маиляна и д.т.н., профессора Б.М. Языева за ценные рекомендации при выполнении исследования.

Для цитирования. Сюаньчжэнь Сун, Муселемов Х.М., Бескопыйный А.Н. Несущая способность соединений из бамбука и их применение в ферменных конструкциях. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2026;5(1):104–114. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2026-5-1-104-114>

Load-Bearing Capacity of Bamboo Joints and their Use in Truss Structures

Xuanzhen Song¹, Khairulla M. Muselemov², Alexey N. Beskopylny³ ✉

¹ Don College, Shandong Jiaotong University, Jinan, China

² Dagestan State Technical University, Makhachkala, Russian Federation

³ Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ abeskopylnii@donstu.ru

Abstract

Introduction. Bamboo structures have become widespread in Asia, Africa, and Latin America. Bamboo is a gradient material with unequal cross-sectional properties and characteristic anisotropy: good properties in the longitudinal and weak transverse directions. The connection of bamboo rods thereby represents a weak point in the design, which is a scientific issue. In modern literature, the lack of the efficiency of various types of bamboo rod joints has been shown leading to a progressive collapse of a structure. The identified gaps in the existing research has enabled us to formulate the aim of the article, which is to develop new types of bamboo rod connections to ensure safe and reliable operation of the truss structure.

Materials and Methods. The object of the study is a bamboo truss with a wall thickness of at least 10 mm. The trusses were calculated by means of the advanced methods of cutting nodes, selecting cross-sections, and designing influence lines.

Research Results. A new design for connecting bamboo rods in the spatial case has been set forth. The advanced spatial hinge is a one-piece hot-forged steel sphere with 18 threaded holes and a machined support surface at angles of 45°, 60° and 90° in relation to each other. A conical steel section is attached at each end of the spatial structure element to transfer force from the bamboo joints to the nodal ones. Due to this tapering cone-shaped section, the nodal joints can be connected to lots of elements at once. The pedestrian bridge truss has been calculated for various load application options. It is shown that the suggested type of connection ensures efficient operation of the spatial structure. The actual reliability factor of 2.33 is 29% over the traditional value.

Discussion and Conclusions. The suggested options for ensuring a reliable connection of bamboo rods are of primary importance in the design and construction of bamboo truss structures of a spatial type. A spherical hinge and a conical attachment with a metal cable create a reliable connection, which is critical for bridge-type structures or residential buildings. The prospects of the work are focused on investigating the efficiency of the suggested compounds in dynamic tasks under a moving load and creep.

Keywords: bamboo, truss, connecting bamboo rods, pedestrian bridge

Acknowledgments. The authors thank the head of the scientific project, Dr.Sc. (Eng.), Professor D.R. Mailyan and Dr.Sc. (Eng.), Professor B.M. Yazyev, for their valuable recommendations during the research.

For citation. Song X, Muselemov KhM, Beskopylny AN. Load-Bearing Capacity of Bamboo Joints and their Use in Truss Structures. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2026;5(1):104–114. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2026-5-1-104-114>

Введение. Конструкции из бамбука получили широкое распространение в странах Азии, Африки, Латинской Америки, то есть в тех регионах, где бамбук активно культивируется и произрастает в изобилии. В странах Латинской Америки бамбук традиционно используется для строительства жилых домов, мостов, галерей и многих других конструкций. Уникальные свойства бамбука делают его применение недорогим и экологически чистым, что соответствует повестке «зеленого» строительства. Конструкции из бамбука имеют эстетические преимущества, создавая аутентичность и гармонию с природой. В северных регионах Эквадора 1 такая тенденция существует многие столетия и привела к сокращению традиционных строительных материалов в пользу деревянно-бамбуковых каркасов, покрытых глиняной штукатуркой, традиционно сочетающейся с местной архитектурой.

Бамбук как строительный материал обладает уникальными преимуществами, включая быстрый рост (до 1 м в день), высокую мощность по секвестрации углерода — до 17 тонн CO₂ на гектар ежегодно, что в четыре раза больше, чем в тропических лесах [2, 3]. Обильные ресурсы бамбука в тропических странах, таких как Китай, Индия и др. (почти 3,5 миллиарда бамбука в год в Китае), создают значительное биоразнообразие и обеспечивают жизненную среду обитания человека. Исследование конструкций из бамбука, изучение домов и жилых строений с применением бамбуковых материалов позволяет сохранить культурную и историческую идентичность. Бамбуковые дома претерпели значительные изменения в материалах и технологиях, использовавшихся на различных этапах эволюции — от домов с бамбуковой конструкцией до домов с деревянными конструкциями, гибридных домов из дерева и кирпича, кирпично-бетонных домов и, наконец, домов с бетонным каркасом, сохраняя при

этом свой традиционный визуальный вид [4]. Следует также отметить, что в ряде стран [5] сохранение традиционного облика входит в национальную программу и входит в список культурного наследия ЮНЕСКО.

Несмотря на многовековой опыт использования бамбука в человеческой практике, детальное изучение взаимосвязи между его микроструктурой и физико-механическими свойствами началось сравнительно недавно. Бамбук представляет собой градиентный материал с неодинаковыми свойствами по поперечному сечению и характерной анизотропией в продольном и поперечном направлениях [6]. Бамбук обладает превосходными свойствами в продольном направлении, что позволяет использовать его в виде фибродобавок [7, 8] или упрочняющих элементов конструкций.

Для устранения этого фундаментального недостатка бамбука, а именно хрупкости в поперечном направлении, применяют бамбук-эпоксидные композиты, способные существенно упрочнить общую конструкцию, сохраняя преимущества и внешний вид [9]. Для понимания эффективной работы бамбуковых стержней в конструкции необходимо знать особенности разрушения бамбука [10]. Бамбук более подвержен гниению, чем обычная древесина, из-за отсутствия природных токсинов и тонких стенок волокон. Это приводит к снижению его динамических свойств [11, 12] и необходимости разработки ламинированного бамбука [13]. Бамбук чувствителен к изменениям температуры и влажности, что приводит к растрескиванию в поперечном направлении. Перепады этих температурно-влажностного режима приводят к расширению и сжатию материала, что вызывает микроскопические трещины или изломы [14]. Слабым местом конструкций из бамбука является соединение бамбуковых стержней [15]. При использовании нагелей и болтов в соединениях бамбуковых элементов могут возникать зазоры, что приводит к ослаблению конструкции.



Рис. 1. Примеры соединения бамбуковых стержней: а — сквозное; б — обвязка

Таким образом, видно, что ненадежное соединение бамбуковых стержней является одной из причин разрушения конструкций, которое вследствие хрупкого поведения бамбука приводит к прогрессирующему разрушению конструкции. На настоящий момент поиск надежных и недорогих креплений и соединений отрезков бамбука является научной проблемой. Эффективное соединение — ключевое место конструкции, определяющее его прочность и надежность. Выявленные пробелы в существующих исследованиях позволили сформулировать цель настоящей статьи: разработка новых типов соединений стержней бамбука для обеспечения безопасной и надежной работы ферменной конструкции.

Материалы и методы. В качестве материала стержня рассмотрен бамбук. Прочность на растяжение соединения с несколькими узлами определяется по самому слабому месту в стержне. Для определения прочности соединения используется бамбук с толщиной стенки не менее 10 мм. Эта минимальная толщина стенки берется из наименьшей толщины стенки образцов различных типов. Приведенное условие гарантирует, что несущая способность каждого узла достигнет как минимум 24 кН. Это предположение основано на 80%-ной предельной нагрузочной способности образца, которая была самой низкой нагрузочной способностью среди трех образцов бамбукового соединения.

После того, как бамбук выбран, следует определить допустимую нагрузку на соединение и коэффициент безопасности. Если при выборе удиллица нет никаких других предпочтений, кроме прочности, следующим шагом является определение подходящего стержня с максимальной нагрузочной способностью, немного превышающей допустимую нагрузку, умноженную на коэффициент безопасности. После этого бамбуковое соединение будет спроектировано исходя из предельной грузоподъемности этого стержня, поскольку стержень должен быть спроектирован как самая слабая часть соединения, чтобы обеспечить прочность соединения на определенном уровне.

Следующим шагом является расчет количества узлов, которое необходимо использовать, путем деления максимальной грузоподъемности стержня ($F_{u,b,c,\parallel}$) на 24 кН. Последним этапом является определение подходящих соединительных проволок таким образом, чтобы в стержне создавалось минимальное усилие натяжения до тех пор, пока все проволоки не будут натянуты.

Обрыв ($F_{m,w}$) происходит в случае превышения допустимой нагрузки на стержень. Поскольку при использовании более крупных стальных проволок работать с ними сложнее, можно использовать более мелкие, но тогда необходимо увеличить количество узлов.

При использовании колец и бамбука с примерно одинаковыми свойствами состав соединителей определяется следующим образом. Если планируется, что допустимая нагрузка на соединение составит 15 кН при коэффициенте запаса прочности 2, то следует выбрать стержень М12 класса 4.6, поскольку его характеристическая прочность составляет 33,70 кН. Если прочность каждого узла на растяжение составляет 24 кН, то для обеспечения более прочных узлов (всего 48 кН), чем на стержне, необходимы два узла. Минимальное усилие, прилагаемое к стержню до момента разрыва каждой проволоки, составляет ($F_{m,w} = 2,41 \cdot f_{u,w}$) при использовании двух проволок диаметром 4 мм и предельной прочностью 9,41 кН

$$F_{m,w} = 2,41 \cdot f_{u,w} = 4,82 \cdot 9,41 = 45,36 \text{ кН}$$

$F_{m,w} = 45,36$ — по-прежнему превышает допустимую нагрузку используемого стержня ($F_{u,r}$).

Проволоку можно заменить на меньший диаметр (3мм) с характеристической прочностью ($f_{u,w} = 5,59$ кН), например, в зависимости от наличия, но количество узлов следует увеличить до трех. Максимальная нагрузка на узлы достигает 72 кН, а минимальное усилие, прилагаемое к стержню до момента разрыва всех проволок, составляет:

$$F_{m,w} = 3 \cdot 2,41 \cdot f_{u,w} = 3 \cdot 2,41 \cdot 5,59 = 40,42 \text{ кН}$$

$$F_{m,w} = 40,42 > F_{u,r}$$

Состав других используемых прутков и стальной проволоки, а также количество узлов могут быть получены таким же способом. Примеры результатов приведены в таблице 1. Для этого используются прутки самого низкого и самого высокого класса, доступные на рынке. При использовании бамбука с аналогичными свойствами, но с пределом прочности при растяжении, полученным в результате различных исследований и составляющим 82,62 Н/мм², предел прочности всего сечения по наименьшей площади поперечного сечения, составляет 224,23 кН.

Таблица 1

Размеры стержня, количества узлов и диаметра стальной проволоки

№	Стержень				Узел		Стальная проволока	
	Класс	Диаметр	Допускаемая нагрузка	Максимальная грузоподъемность ($F_{u,r}$)	Количество узлов	Максимальная грузоподъемность ($F_{u,k,t,\parallel}$)	Диаметр	Максимальная грузоподъемность ($F_{u,r}$)
		мм	кН	кН		кН	мм	кН
1	4,6	12	16,86	33,72	2	48,00	4	45,19
2					3	72,00	3	40,25
3		20	31,40	62,80	3	72,00	4	67,78
4					5	120,00	4	112,97
5	8,8	14	46,00	92,00	4	96,00	5	138,39
6					5	120,00	4	112,97
7					8	192,00	4	180,76

Результаты исследования. Чтобы создать эффективную конструкцию с большим пролетом, элементы пространственной конструкции должны быть нагружены исключительно усилием растяжения или сжатия. Предлагаемые бамбуковые соединения на основе креплений хорошо соответствуют этому требованию. Благодаря соединению без введения строительного раствора или смолы предлагаемые соединения обеспечивают относительно более легкое соединение, чем соединения с инъекцией. Это согласуется с принципом пространственной структуры как облегченной конструкции.



Рис. 2. Применение соединения для пространственной конструкции

Среди некоторых узловых соединений узловое соединение Mejo является одним из самых популярных (рис. 2). Исходный шаровой шарнир Mejo представляет собой цельную стальную сферу горячейковки с 18 резьбовыми отверстиями и обработанной опорной поверхностью под углами 45° , 60° и 90° относительно друг друга. Чтобы использовать эти узловые соединения в пространственной конструкции из бамбука, необходимо внести некоторые усовершенствования, как показано на рис. 3. На каждом конце элемента пространственной конструкции следует прикрепить коническую стальную секцию для передачи усилия от бамбуковых соединений к узловым соединениям. Благодаря такому сужающемуся конусообразному сечению узловое соединение может быть соединено со многими элементами одновременно; в противном случае вокруг узлового соединения недостаточно места, например, в экстремальных условиях, для использования всех резьбовых отверстий, за исключением удлинения стержней бамбуковых соединений. Однако удлинение стержней бамбуковых соединений перед соединением с узловыми соединениями невозможно из-за изгибающих эффектов, хотя они являются лишь вторичными эффектами.

Еще одно усовершенствование заключается в разделении стержня как части бамбукового соединения и болта для соединения узловое соединение. Это может быть сделано с использованием конической стальной конусной секции, таким образом, крепление этой секции к бамбуковому соединению или к узловому соединению может быть выполнено отдельно.

Применение предложенного соединения рассмотрим на примере пешеходного моста (рис. 4). Поскольку при изготовлении мостов используется очень простая технология, а бамбук легко собирать, через некоторое время мосты можно заменить на новые, не сталкиваясь со многими проблемами. Однако использование традиционной технологии ограничивается пролетом мостов. В последнее время бамбуковые мосты рекламируются как экологически чистые, что ставит перед многими архитекторами и инженерами сложные задачи, особенно после того, как проблема долговечности бамбука была решена с помощью современных технологий консервации.

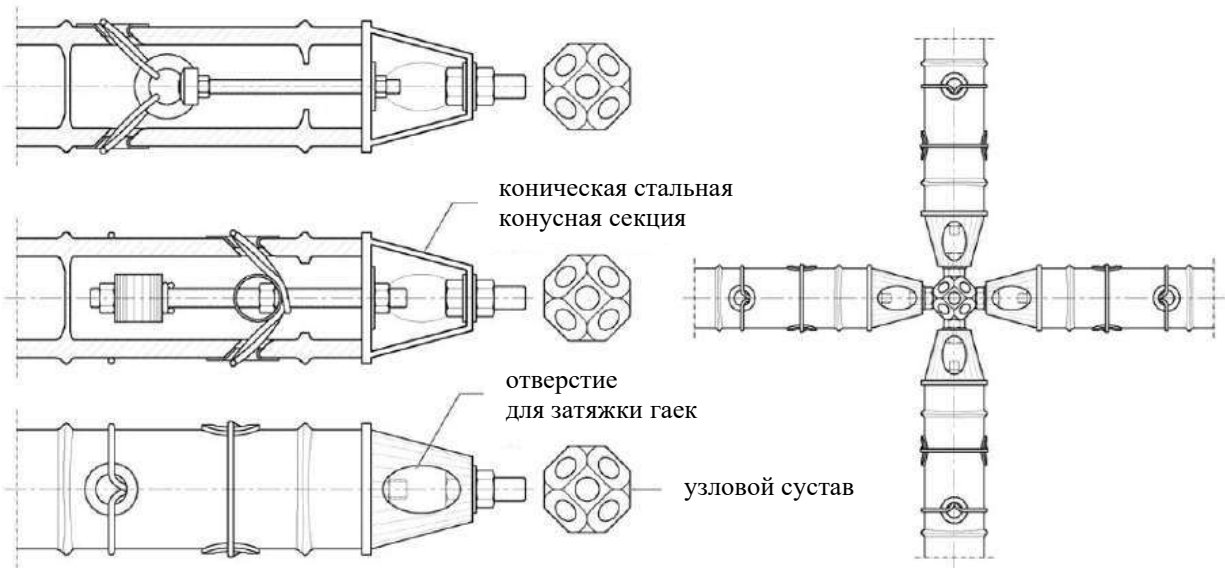


Рис. 3. Концептуальное применение бамбукового соединения на основе крепления для пространственной конструкции



Рис. 4. Пример простой конструкции моста с пролетом 10 метров

Прежде чем приступить к проектированию стыков, необходимо рассчитать распределение усилий по всей конструкции. Предполагается, что мост является пешеходным с распределенной нагрузкой 5 кН/м^2 , включая рабочую и нерабочую нагрузку (рис. 5). Длина пролета моста составляет 10 м при ширине 1,20 м.

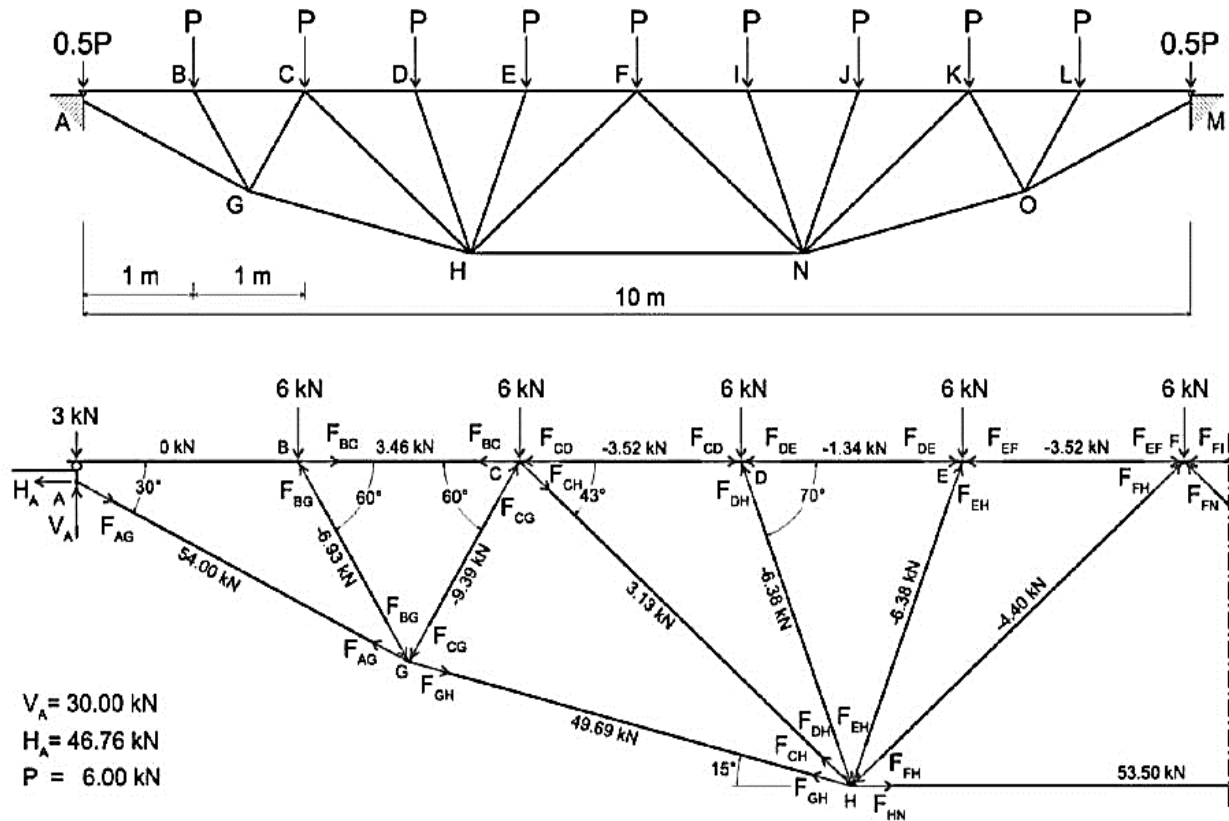


Рис. 5. Распределение усилий в стержнях фермы моста

Можно получить общую нагрузку на мост: $W = 5 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \cdot 10\text{м} \cdot 1,2\text{м} = 60 \text{ кН}$

Модуль упругости бамбука вдоль волокон составляет 12222,3 МПа, модуль упругости поперек волокон составляет 1489 МПа. Коэффициент Пуассона вдоль волокон составляет 0,325, коэффициент Пуассона поперек волокон 0,039.

Расчеты показывают, что на все элементы в нижней части конструкции действуют высокие силы натяжения: $F_{AG} = F_{OM} = 54,00 \text{ кН}$; $F_{GH} = F_{NO} = 49,69 \text{ кН}$; и $F_{HN} = 53,50 \text{ кН}$. Другие элементы, создаваемые при малых усилиях натяжения, имеют значение $F_{BC} = F_{KL} = 3,46 \text{ кН}$ и $148 F_{CH} = F_{KN} = 3,13 \text{ кН}$.

Остальные элементы, за исключением элементов с нейтральной осью АВ или LM, подвергаются воздействию относительно низких усилий сжатия в диапазоне от 1,34 до 9,39 кН. Исходя из этих расчетов, конструкции натяжных соединений делятся на два типа: для обеспечения высокой несущей способности используется бамбуковое соединение с несколькими узлами, а для обеспечения низкой несущей способности – бамбуковое соединение с рым-болтом.

В конструкции моста высокие силы натяжения, такие как F_{AG}, F_{GH}, F_{HN} , передаются двумя параллельными стойками. Таким образом, половина силы приходится на каждую стойку. Используя в качестве основы для расчета наибольшее усилие натяжения, соединения с несколькими узлами должны выдерживать нагрузку в 27,00 кН. Это значение считается допустимой нагрузкой.

При использовании коэффициента запаса прочности 2 максимальная нагрузка на шарнир должна составлять 54,00 кН. Согласно ранее приведенной таблице 1, можно использовать штанги М16 класса 4.6 с максимальной нагрузкой 62,80 кН. Кроме того, количество узлов и диаметр проволоки могут быть определены как 3 узла и 4 мм соответственно. При таком сочетании стержень обладает наименьшей предельной нагрузочной способностью.

Таким образом, достигается реальный коэффициент надежности:

$$F.S. = \frac{62,8 \text{ кН}}{27,00 \text{ кН}} = 2,33$$

Для упрощения расчеты выполнены для однослойной рамы в двух измерениях, как показано на рис. 5–11.

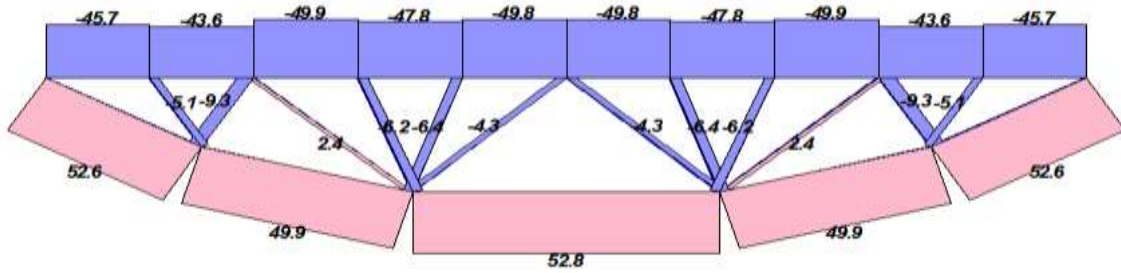
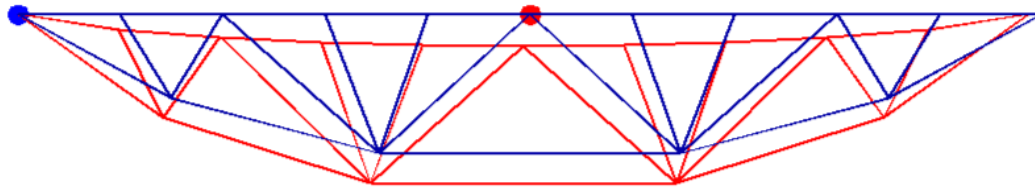


Рис. 6. Усилия в стержнях, кН



Max: Узел 1, $U_z = 0,000$ мм Min: Узел 6, $U_z = -32,538$ мм

Рис. 7. Перемещения узлов, мм (масштаб перемещений увеличен в 10 раз)

Загрузка левой половины пролета

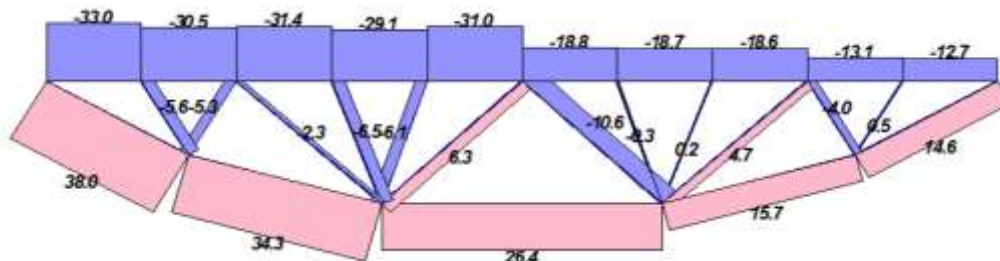
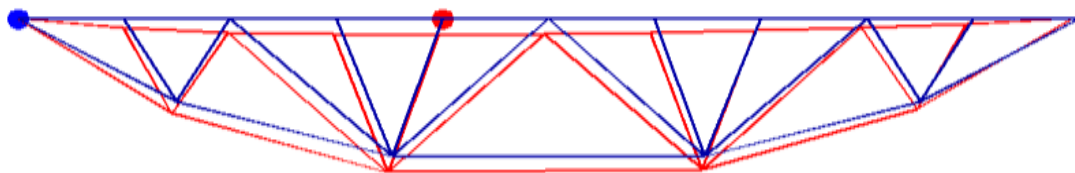


Рис. 8. Усилия в стержнях, кН



Max: Узел 1, $U_z = 0,000$ мм Min: Узел 5, $U_z = -17,250$ мм

Рис. 9. Перемещения узлов, мм (масштаб перемещений увеличен в 10 раз)

Линии влияния

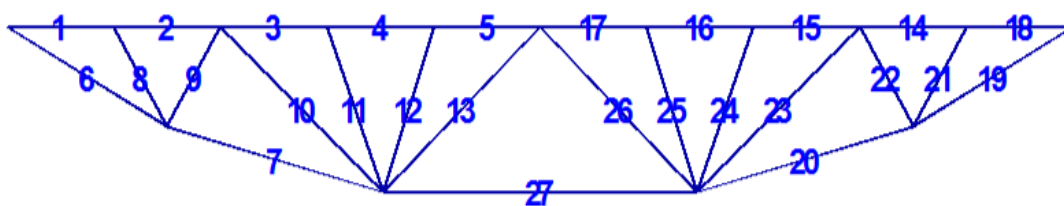


Рис. 10. Нумерация стержней

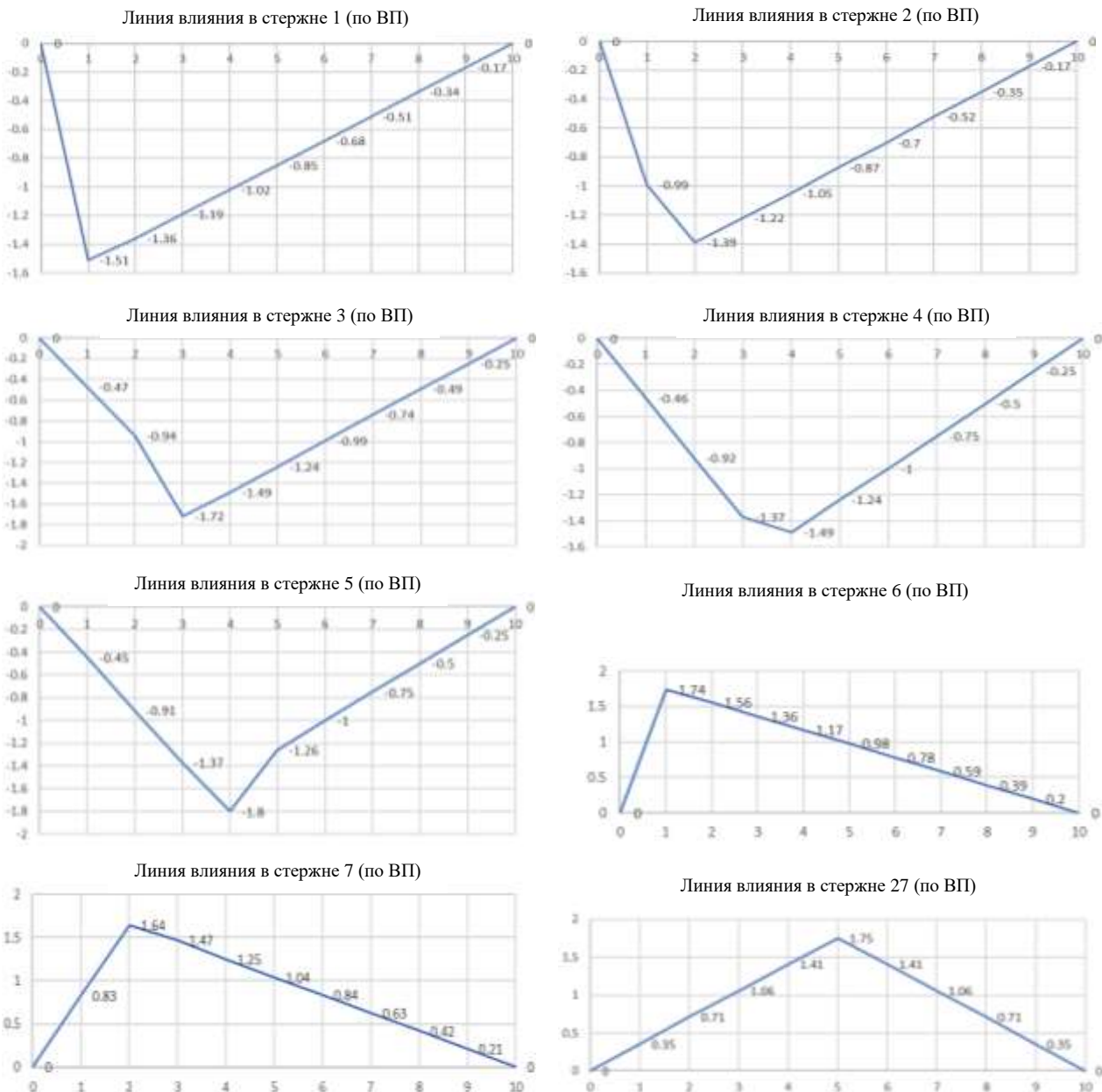


Рис. 11. Линии влияния в поясах фермы (единичная сила по верхнему поясу)

Анализ линий влияния продольных усилий приводит к выводам:

— максимальные усилия в поясах фермы возникают при нагрузке, действующей на все узлы верхнего пояса. При этом в стержнях верхнего пояса имеем отрицательные усилия, в стержнях нижнего — растягивающие.

— максимальные усилия в раскосах фермы возникнут:

а) для стержня 8 — сила в точке $X=1$; для стержня 11 — сила в точке $X=3$; для стержня 12 — сила в точке $X=4$.

б) в стержнях 9, 10, 13 линия влияния знакопеременная. Для стержня 9 максимальное растягивающее усилие — при силе в узле $X=1$, максимальное сжимающее — при одновременном действии сил в узлах $X \in [2, 10]$. Для стержня 10 максимальное растягивающее усилие $X \in [3, 10]$, максимальное сжимающее $X \in [1, 2]$. Для стержня 13 максимальное растягивающее усилие $X \in [0, 4]$, максимальное сжимающее $X \in [5, 10]$.

Обсуждение и заключения. Предложенные варианты обеспечения надежного соединения бамбуковых стержней имеют большое значение при проектировании и строительстве бамбуковых ферменных конструкций пространственного типа. Сферический шарнир и конусное крепление с металлическим тросом создают надежное соединение, что имеет решающее значение для конструкций мостового типа или жилых помещений. Перспективы настоящей работы сосредоточены на исследовании эффективности предложенных соединений в динамических задачах в условиях движущейся нагрузки и ползучести.

Список литературы/ References

1. Martal, C, Almeida, J.E. Considering the invisible in architecture: The contribution of traditional architecture to the study of pre-Hispanic mounds in the north-Andean region of Ecuador. *Journal of Anthropological Archaeology*. 2026;81: 101732. <https://doi.org/10.1016/j.jaa.2025.101732>
2. Devi, A. S., Singh, K. S. Carbon storage and sequestration potential in aboveground biomass of bamboos in North East India. *Sci. Rep.* 2021;11:837. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80887-w>
3. Huang, Y., Hu, J., Zhang, Y. et al. Multifunctional Bamboo Based Materials Empowered by Multiscale Hierarchical Structures – A Critical Review. *Adv. Mater.* 2026;38:e07844. <https://doi.org/10.1002/adma.202507844>
4. Hao, J., Shinohara, H. Continuity through change: community-led adaptation of Dai bamboo houses under modernisation. *Built Heritage*. 2026;10:10. <https://doi.org/10.1186/s43238-026-00250-2>
5. Mastura, J., Noor, S., Rasoolimanesh, M.S. Perception of young local residents toward sustainable conservation programmes: A case study of the Lenggong World Cultural Heritage Site. *Tourism Management*. 2015;48:154–163. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2014.10.018>
6. Su, N.; Li, Y.; Zhang, C.; Chen, Y.; Xu, H.; Fang, C.; Chen, L. Bamboo Rhizomes: Insights into Structure, Properties, and Utilization. *Forests*. 2026;17:6. <https://doi.org/10.3390/f17010006>
7. Qu, Y., Liu, Z., Li, Y., He, E., Zhang, Z. Analytical modeling of axial compressive behavior of geopolymer concrete columns confined with FRP-bamboo winding tubes. *Composite Structures*. 2026;385:120233. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2026.120233>
8. Ahmad, S. I., M. S. Alam, and M. J. Alam. Structural and life-cycle economic feasibility of rooftop low-height bamboo telecom tower considering a case study from Bangladesh. *Pract. Period. Struct. Des. Constr.* 2026;25(3):1–12. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)SC.1943-5576.0000492](https://doi.org/10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000492)
9. Guan, M., Jia, Q., Liu, X., Wu, M., Che, P. Bending and affecting behavior of a novel flattened bamboo/epoxy composite with high robustness-toughness. *Construction and Building Materials*. 2026;517:145758. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2026.145758>
10. Yue, Q., Wang, W., Zhang, X., Zhao, E. Failure and fracture evolution analysis of inorganic-bonded bamboo composite material under compression. *Engineering Failure Analysis*. 2026;186(B):110536. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2026.110536>
11. Zhang, K.; Xia, H.; Xu, L.; Zhou, S.; Gao, L.; Zuo, G.; Zhang, X.; Li, Q. Tensile Behavior and Failure Mechanism of Bamboo Fiber Bundle and Its Scrimber Under Different Strain Rates. *Materials*. 2025, 18:2550. <https://doi.org/10.3390/ma18112550>
12. Zhang, K.; Sun, Y.; Wang, F.; Liang, W.; Wang, Z. Progressive Failure and Energy Absorption of Chopped Bamboo Fiber Reinforced Polybenzoxazine Composite under Impact Loadings. *Polymers*. 2020, 12:1809. <https://doi.org/10.3390/polym12081809>
13. Li, J.-N.; Singh, A.; Zhou, J.-W.; Zhang, H.-T.; Lu, Y.-C. Size and Geometry Effects on Compressive Failure of Laminated Bamboo: A Combined Experimental and Multi-Model Theoretical Approach. *Buildings*. 2025,15:3261. <https://doi.org/10.3390/buildings15183261>
14. Wang, X.; Zhong, Y.; Luo, X.; Ren, H. Compressive Failure Mechanism of Structural Bamboo Scrimber. *Polymers*. 2021, 13:4223. <https://doi.org/10.3390/polym13234223>
15. Kennaway, J.; Rajabipour, A.; Huang, D.; Bazli, M.; Tang, S.; Wang, J.; Zanker, H.; Su, F. Connection Confinement of Bolted Fibre-Reinforced Polymer Bamboo Composite. *Polymers*. 2022,14:2051. <https://doi.org/10.3390/polym14102051>

Об авторах:

Сюаньчжэнь Сун, аспирант Донского института, Шандунского транспортного университета (250357, Китай, г. Цзинань, р-н Чанцин, ул. Хайтан, 5001) [ResearcherID](#), [ScopusID](#), [ORCID](#), suncheng@hit.edu.cn

Муселемов Хайрула Магомедмурадович, доктор технических наук, заведующий кафедрой строительных конструкций и гидротехнических сооружений Дагестанского государственного технического университета (367026, Российская Федерация, Республика Дагестан, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, 70), [ORCID](#), kskigs@dstu.ru

Бескопильный Алексей Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры организации перевозок и дорожного движения Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162), [ResearcherID](#), [ScopusID](#), [ORCID](#), abeskopylnii@donstu.ru

Заявленный вклад соавторов

Все авторы внесли равный вклад в проведенном исследовании и подготовке статьи.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи

About the Authors:

Xuanzhen Song, PhD student at the Don College, Shandong Jiaotong University (5001, Haitan Road, Changqing District, Jinan, 250357, China) [ResearcherID](#), [ScopusID](#), [ORCID](#), suncheng@hit.edu.cn

Khairulla M. Muselemov, Dr.Sc. (Eng.), Head of the Department of Building Structures and Hydraulic Structures, Dagestan State Technical University (70 Imama Shamilya Ave., Makhachkala, 367026, Republic of Dagestan, Russian Federation), [ORCID](#), kskigs@dstu.ru

Alexey N. Beskopylny, Dr.Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Transportation and Traffic Management, Don State Technical University (162 Sotsialisticheskaya Str., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), [ResearcherID](#), [ScopusID](#), [ORCID](#), abeskopylnii@donstu.ru

Claimed contributorship:

All authors have made an equal contribution to conducting the research and preparing the manuscript.

Conflict of interest statement: the authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final version of manuscript.

Поступила в редакцию / Received 18.01.2026

Поступила после рецензирования / Reviewed 04.02.2026

Принята к публикации / Accepted 14.02.2026