

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Яо Вэя на тему  
“РАЗРАБОТКА И РАСЧЕТ УЗЛОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ НЕСУЩИХ  
ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СТЕРЖНЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ БАМБУКА”,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальности 05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения.

Диссертационная работа Яо Вэя посвящена разработке и исследованию нового эффективного узла для соединения бамбуковых элементов стержневых конструкций.

Выбор объекта исследований в рассматриваемой научной работе – бамбуковых стержней как конструктивных элементов – обусловлен значительными запасами бамбука, которыми располагает родина соискателя ученой степени (Китайская Народная Республика), а также дефицитом строительных пород древесины на этой территории. Кроме того, традиционным достоинством исследований, направленных на новое применение в строительстве такого самовозобновляемого сырья, как древесина (или в данном случае бамбук, представляющий собой одревесневающее растение) является экологическая направленность работы.

Бамбук в отличие от строительных пород древесины обладает интересными с технической точки зрения свойствами и геометрией, но при этом его применение в строительстве (для несущих плоских сквозных и пространственных структурных конструкций) в настоящий момент можно отнести скорее к оригинальным исключениям даже на территориях с большими запасами этого растения. Причина – в том числе в недостаточности эффективных конструктивных решений, имеющих научное обоснование.

Таким образом, **актуальность** исследований автора, сосредоточенная на узловых соединениях несущих пространственных стержневых конструкций из бамбука для регионов, богатых таким строительным сырьем, на мой взгляд, **не вызывает сомнений**.

Диссертационная работа Яо Вэя выполнена в Санкт-Петербургском государственном архитектурно-строительном университете.

Работа состоит из введения, четырех глав основного текста, выводов, списка использованной литературы, включающего 119 наименований, и приложений. В приложении представлен акт о внедрении диссертационных разработок. Общий объем диссертации 163 страницы.

### Во введении диссертационной работы:

- приводится перечень основных видов существующих конструктивных решений узловых соединений бамбуковых элементов, классифицированных на 6 групп с указанием их недостатков;

- формулируется цель исследования – разработка новой конструкции узла соединения бамбуковых стержней для плоских и пространственных стержневых строительных конструкций, лишенных недостатков альтернативных решений, и удовлетворяющих следующим требованиям: несущая способность и деформативность узла должна быть сопоставима с аналогичными параметрами элементов из бамбука, узел должен обладать простотой сборки-разборки и ремонтпригодностью, а также не иметь при сборке мокрых процессов (типа бетон, клей, и т.д.);

- определяются задачи, объект и предмет исследования;
- формулируется научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы;
- перечисляются методы исследования и положения, выносимые на защиту;
- дается обобщенная информация об апробации работы и публикациях автора по теме исследований.

В первой главе диссертационной работы автор:

- исследует состояние вопроса, рынок строительных материалов Китая, анализирует недостатки масштабного применения не возобновляемых энергоемких в производстве ресурсов и одновременно отмечает нехватку традиционной деловой древесины в силу ее неконтролируемой вырубке во второй половине 20 века;
- приводит ссылки и выдержки из работ в области изучения бамбука как строительного материала в мировой науке, отмечает их достоинства и недостатки;
- раскрывает строение, свойства, особенности, достоинства бамбука, как строительного материала;
- приводит предварительную количественную оценку прочностным характеристикам бамбука из различных источников;
- приводит и анализирует множество примеров использования бамбука в несущих конструкциях в мировой строительной практике;
- описывает конструкцию каждой группы известных узловых соединений бамбуковых элементов с анализом их недостатков;
- формулирует требуемые качества узлового соединения, которые будут выгодно отличать новое соединение от существующих решений.

Во второй главе автор:

- конкретизирует и углубляет формулировки принципов проектирования эффективных узлов для бамбуковых конструкций, которым должно отвечать новое узловое соединение, а именно механическое соединение деталей, как наиболее быстрое и контролируемое, минимизация работы бамбука на уязвимые виды напряженных состояний - сдвиг и смятие кольцевого сечения поперек волокон, шарнирность соединения, простота монтажной сборки, достигающаяся использованием в узлах стальных унифицированных деталей, прочность, жесткость и эстетичность узлов;
- выдвигает идею использовать стальной шар-коннектор из хорошо известной "системы МАРХИ" для сопряжения элементов пространственной стальной конструкции;
- предлагает 3 авторских варианта конструктивных решений узла и для дальнейших исследований выбирает один, наиболее эффективный (так называемый, "узел СПбГАСУ");
- анализирует работу деталей выбранного узла на усилия разного знака, выводит приближенные аналитические зависимости для внутренних усилий и напряжений в разных деталях узла на основе безмоментной теории оболочек и критерия прочности Мизеса, приводит пример расчета с применением программы MathCAD;
- производит численный анализ "узла СПбГАСУ" с применением программы ANSYS;

В результате сравнения результатов расчета аналитическим и численным методами “узла СПбГАСУ” в том числе установлено, что разница между ними в момент достижения предела текучести стали при растягивающем усилии составляет 31%, а при сжимающем усилии – 38%. Автором делается вывод, что аналитический расчет полезен для быстрого назначения параметров деталей узла. При этом для точной оценки работы узла представленный аналитический расчет не подходит, поскольку не учитывает совместность работы деталей узла, физическую и геометрическую нелинейности, неравномерность передачи усилий от элемента к элементу, силы трения, объемное распределение напряжений и другие факторы.

В третьей главе автор:

- выбирает породу бамбука на основе совокупности технических достоинств и доступности для массового строительства – бамбук Мосо;
- получает результаты кратковременных испытаний серий малых образцов бамбука Мосо с “суставом” и без “сустава” (по 10 образцов на серию) на растяжение вдоль волокон (среднее значение предела прочности 115 МПа), сжатие вдоль волокон (73,9 МПа), смятие поперек волокон (28,2 МПа) с показателями точности экспериментов в пределах 5-6%;
- делает вывод о том, что влияние на прочность наличия «суставов» в бамбуковых стержнях можно не учитывать по причине малости их влияния;
- выполняет аналитический и экспериментальный анализ резки бамбука и выбирает оптимальное количество сегментов, имеющих максимальную площадь сечения и возможность изгиба на угол стального конуса, а также определяет оптимальное количество сегментов в количестве 10 штук;
- выполняет экспериментальный подбор материала для различных деталей разработанного узла на основании прочностных характеристик и характера работы в узле, который показывает, что оптимальным материалом для всех деталей узла, контактирующих с бамбуком, является металл;
- проводит испытание уменьшенного образца с алюминиевыми конусами на растяжение и делает вывод о необходимости предварительного обжатия узла до его установки в конструкцию путем затягивания внешней гайки с контролируемым усилием;
- проводит испытание образцов в натуральную величину с коническими деталями из стали 5 и болтом из стали 45 на растяжение и сжатие, получает пределы, обеспечивающие работоспособное состояние узла – 22,5 тс и 15,7 тс соответственно.

В четвертой главе автор:

- получает формулу для определения коэффициента затяжки упорной гайки для растянутых элементов, который показывает, во сколько раз усилие обжатия, создаваемое упорной гайкой, должно превышать расчетное усилие растяжения в элементе, чтобы ограничить максимальные деформации в узле величиной 2 мм; значение коэффициента для испытанного узла должно составлять 1.5;
- разрабатывает методические рекомендации по конструированию исследованного узла;
- ставит задачи для последующих работ в данном направлении, решение которых уточнит расчетные характеристики предложенного узла, а именно определит коэффициент трения скольжения «металл-бамбук», деформативность при смятии

поперек волокон наружной и внутренней стороны бамбука, деформативность узла в целом.

К диссертационной работе следует сделать следующие замечания:

1. Для подтверждения успешного решения научной задачи желательно было бы сравнить не только качественные свойства шести групп существующих соединений с новым авторским узловым соединением, но и привести сравнение несущей способности и деформативности нового узла с аналогичными параметрами существующих соединений.
2. Поскольку рассматриваемые узловые соединения планируется применять в пространственных конструкциях, срок службы которых должен быть как минимум несколько десятилетий, необходимо уточнить, какова стабильность механических показателей бамбука с прогнозом на весь срок службы объекта такого типа. Выражены ли реологические свойства у бамбука и нужно ли это учитывать в расчетах соединения?
3. Желательна оценка несущей способности узлового соединения, а также его деформативности (особенно при растяжении) при колебаниях влажности бамбука.
4. Испытания образцов бамбука на сжатие поперек волокон проводились в соответствии с китайскими стандартами. В российских стандартах условный предел прочности получается по диаграммам разности деформаций. Из диаграмм и результатов испытаний автора следует, что предел прочности принимался за пределами перелома основной диаграммы деформирования как максимальное сопротивление образца внешней нагрузке без учета величины деформации. Возможно, с этим также связаны большие деформации в узле при испытаниях.
5. В работе упоминается необходимость термической обработки сегментов перед загибом их на конус. Следовало бы дать более подробное описание технологии обработки (температура, использование пара и пр.).
6. Проверка расчетов выполнена с помощью испытания 2-х элементов на растяжение и 1-го на сжатие. Следовало бы увеличить количество образцов для проверки и уточнения всех расчетных положений, в том числе испытать образцы с упорной гайкой, затянутой до расчетного значения усилия обжатия.
7. Испытание второго образца на растяжение продемонстрировало, что снятие нагрузки до разрушения и приложение повторной нагрузки на соединение вызывает достаточно большие остаточные деформации. В связи с этим рекомендуется провести исследование узла на действие нагрузки одного знака с переменным ее значением, а также на знакопеременную нагрузку.

Полагаю, что указанные замечания не влияют на общую оценку представленной к защите диссертации и могут быть предметом дальнейших исследований автора.

#### Общая оценка диссертационной работы

Тема диссертации актуальна, цель сформулирована четко, а поставленные задачи обеспечивают достижение цели.

Научная новизна работы состоит в разработке нового узлового соединения бамбуковых элементов несущей конструкции, разработке математической модели и

алгоритма расчета нового узлового соединения с помощью программы ANSYS, получении аналитических зависимостей для назначения предварительных параметров узла, а также в получении результатов экспериментальных исследований нового узла.

Практическая значимость работы заключается в предложении эффективной универсальной конструкции узлового соединения бамбуковых элементов, выгодно отличающейся от ранее известных решений и способной найти широкое применение в строительстве. Подана заявка на патент.


Результаты, полученные в диссертации, можно квалифицировать как комплексное решение актуальной научно-технической задачи, имеющей научное и практическое значение, в первую очередь для строительной отрасли стран с запасами такого сырья как бамбук.

Цель работы достигнута, общие выводы автора не вызывают принципиальных возражений, а предложенная конструкция узла позволяет разрабатывать более эффективные несущие конструкции из бамбука.

**Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, достоверны и обоснованы.** Работа в достаточной мере апробирована, а автореферат автора и 7 опубликованных работ отражают содержание диссертационной работы.

Таким образом, представленная к защите научная работа Яо Вэя “Разработка и расчет узловых соединений несущих пространственных стержневых конструкций из бамбука” отвечает требованиям п.9. «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а автор диссертационной работы Яо Вэй заслуживает присуждения ему степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения.

Официальный оппонент,  
Заведующий кафедрой железобетонных,  
каменных и деревянных конструкций  
ФГБОУ ВПО “Нижегородский  
государственный архитектурно-  
строительный университет”,  
кандидат технических наук

  
Ключников Алексей Владимирович

603950, г. Нижний Новгород,  
ул. Ильинская, д. 65  
8-831-430-54-86  
8-920-252-26-28  
ak.dk@mail.ru

30.10.2015 г.

