

ЖЁСТКИЕ УЗЛЫ КЛЕЁНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ БАЛОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ВКЛЕЕННЫХ СТАЛЬНЫХ ШАЙБАХ

Рассмотрены вопросы, связанные с конструированием, расчётом и изготовлением жёстких узловых соединений клеёных деревянных балочных элементов. Приведены результаты экспериментального исследования клеёной балки с жёстким стыком, выполненным с применением вклеенных стальных шайб. Предложена методика испытания и конструирования жёсткого узла сопряжения элементов перекрёстно-балочной структуры из клееных деревянных элементов на вклеенных стальных шайбах.

Ключевые слова: балка, клеёные деревянные балки, стальные шайбы, жёсткий узел, расчётная схема

Индустриальное производство клеёной древесины и водостойкой фанеры открыло широкие возможности для создания рациональных и интересных в архитектурном отношении зданий и сооружений общественного назначения. Такими свойствами клеёных деревянных конструкций, как разнообразие очертаний и форм поперечных сечений, возможность перекрытия больших пролётов, малая масса, архитектурная выразительность, хорошая транспортабельность и т.д. можно объяснить растущее использование клеёной древесины в гражданском строительстве ФРГ, Великобритании, Франции и других стран.

Плоскостные конструкции (балки, арки, рамы) предназначены для восприятия нагрузок, действующих только в их плоскости. Их используют, в основном, в качестве самостоятельных несущих конструкций покрытий или несущих элементов каркаса здания для поддержания ограждающих элементов покрытия и стен. В целях обеспечения пространственной жёсткости, устойчивости и геометрической неизменяемости каркаса здания плоскостные конструкции дополнительно подвергаются раскреплению специальными связями жёсткости, что, естественно, приводит к повышению стоимости и увеличению трудоёмкости возведения здания.

Дальнейшим развитием плоских сплошных и сквозных конструкций в современном строительстве являются пространственные плиты и оболочки, состоящие из регулярно-пластинчатых образований, носящие общее название структурные конструкции или просто структуры.

Перекрёстно-балочная структура (ПБС) представляет собой балочную клетку, состоя-

щую из совместно работающих, пересекающихся в двух или трёх направлениях клеёных деревянных или клеефанерных балочных элементов. Угол между балками в плане может составлять 90, 60 или 45°. Балки могут быть использованы одиночные или спаренные.

К положительным качествам, присущим структурам из сборных клеёных деревянных элементов, относятся:

– архитектурные: эстетическая и архитектурная выразительность, способствующая созданию современного интерьера с хорошей акустикой; возможность использования перекрёстно-балочных конструкций для зданий с различной конфигурацией в плане, при этом опирание покрытия может быть не только по контуру, но и на колонны.

– конструктивные: пространственная жёсткость, способствующая увеличению пролёта покрытия и отказу при этом от связей жёсткости; возможность увеличения отношения высоты балок к ширине без опасности потери устойчивости элементов; многосвязность системы, повышающая степень надёжности конструкции при локальных разрушениях; регулярность и однотипность конструктивных элементов; значительное уменьшение материалоёмкости ограждения за счет контурного опирания панелей покрытия.

– технологические: простота конструктивной формы балочных элементов и как следствие возможность изготовления их на автоматизированных линиях; возможность рационального использования узкомерного и короткомерного материала; высокая степень заводской готовности покрытия.

Особую сложность при проектировании и изготовлении балочных структур представляют узлы сопряжения балок, которые могут быть жёсткими или шарнирными. Предпочтительнее эти узлы выполнять жёсткими, что создает просторную работу балочной структуры и уменьшает её деформативность. Конструкция жёсткого узла определяется преимущественно размерами и количеством соединяемых в узле элементов и действующими в них усилиями.

Как правило, узлы выполняются с металлическими вкладышами или без них, но с обязательным наличием стальных полос, которые соединяют стыкуемые балки с помощью болтов, нагелей или глухарей. Такие узлы имеют ограниченную несущую способность или требуют достаточно большого количества соединительных болтов.

Все усилия при разработке конструктивных решений узлов направлены на получение равнопрочных жёстких соединений. Возможно применение всех видов связей: это и упоры, и механические связи, и всевозможные соединения с применением клея. В настоящей статье рассмотрены вопросы, связанные с проектированием, расчётом и изготовлением жёстких узловых соединений.

Некоторые конструкции жёстких узлов пересечения балок в структурах приведены в [1, 2, 3], однако все продемонстрированные узлы имеют ограниченную несущую способность или требуют достаточно большого количества соединительных элементов. Несущая способность болтов прицепляющих стальные полосы к деревянной балке редко превышает 10кН, а усилие в узлах при пролетах структур свыше 12м существенно больше этой величины, поэтому выбор способа и вида соединения при решении узлов сопряжения балок имеет особую важность.

В работах [4, 5] предлагается новый вид соединения для деревянных конструкций, основанный на том, что усилие, действующее на центральной болт, передается на древесину через вклеенную металлическую шайбу. Круглая металлическая шайба вклеивается эпоксидным клеем в заранее подготовленное гнездо в древесине на глубину равную толщине шайбы. Вклеенная шайба работает совместно с древесиной, способствует перераспределению локальных напряжений смятия и скалывания на большую

площадь по сравнению с размерами самой шайбы, что приводит к увеличению несущей способности такого соединения в несколько раз по сравнению с несущей способностью соединения на болтах.

Для более тщательного изучения работы жёстких стыков деревянных элементов с применением вклеенных стальных шайб, проведены экспериментальные исследования жёсткого узла стыка клеёной деревянной балки, представленного на рис. 1.б.

Цель экспериментального исследования: изучить действительную работу соединения на вклеенных стальных шайбах и дать оценку его прочности и деформативности, оценить возможность использования такого соединения при проектировании жёстких узлов балочных элементов.

Для проведения испытаний узла были изготовлены образцы (рис. 1), представляющие собой: цельный клеедощатый элемент длиной 2960 мм и расчленённый пополам такой же элемент с жёстким узлом по середине сечением 120x494 мм и общей длиной 2960 мм. Образцы выполнены из клеёной древесины сосны II сорта, с влажностью $W=12\%$. В месте стыка, в зоне возникновения растягивающих и сжимающих усилий, установлены два сварных стальных сердечника. Для соединения сердечников с деревянными элементами использованы болты $d_0=16$ мм и стальные шайбы $D_{ш}=60$ мм, $t_{ш}=10$ мм.

Испытание образцов балки производилось по схеме свободнолежащей балки на двух опорах, подверженной действию двух сосредоточенных сил в третях пролета. Благодаря такому нагружению в центральной части балки возникает максимальный изгибающий момент $M_{max} = P \cdot l / 6$. Оба образца – цельной балки и балки со стыком испытывались в совершенно одинаковых условиях и по одной и той же методике. Расчётная схема приведена на рис. 2.

Для принятых размеров образца были выполнены теоретические расчёты по определению расчётных усилий, возникающих в нём при достижении предельного состояния, т.е. при условии, когда $\sigma_{max} = R_{и}$. При этом была получена величина длительной расчётной нагрузки $P_{расч} = 137,93$ кН и кратковременная расчётная нагрузка $P_{кр} = 209$ кН.

Округлённо за расчётную нагрузку принялась $P_p = 200$ кН.

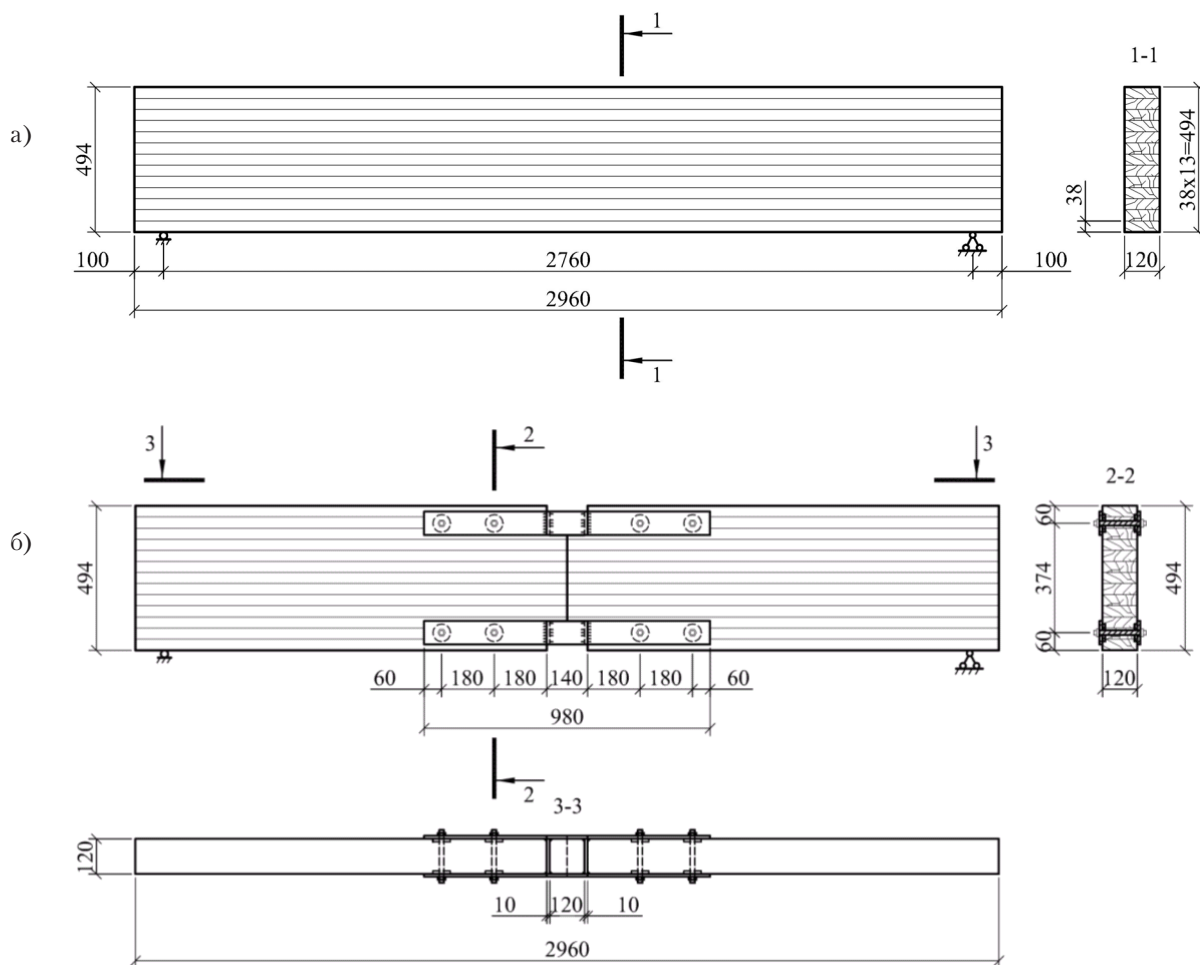


Рисунок 1. Геометрическая схема образца: а – цельной балки; б – балки с жёстким стыком в середине пролёта

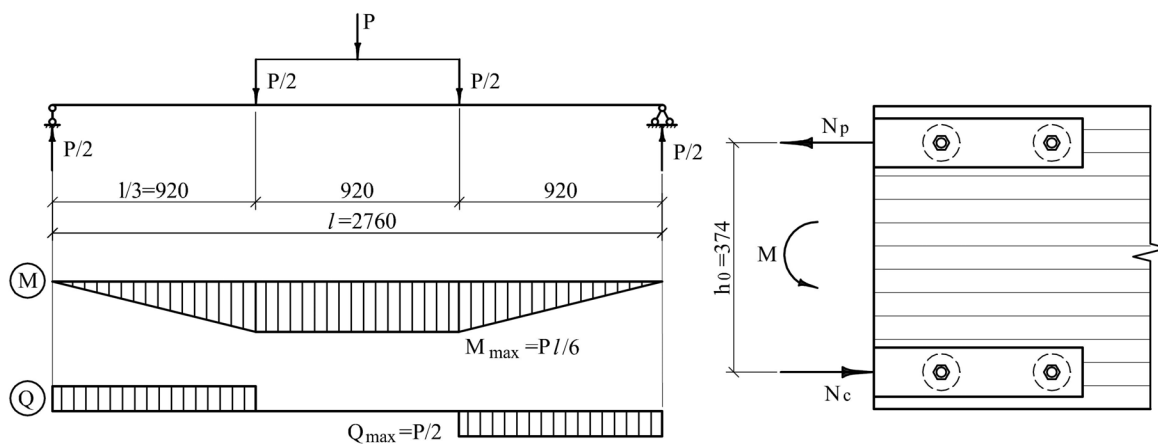


Рисунок 2. Расчётная схема балки

В процессе испытаний нагрузка на балку прикладывалась ступенями, величина ступени составляла $\Delta P \approx (0,1 \dots 0,2) P_p = 20 \text{ кН}$.

После выполнения подготовительных работ образцы выдерживались в помещении лаборатории в течение трёх суток с целью полного отверждения клея и установления равновесной влажности древесины.

Нагрузка создавалась с помощью домкрата, расположенного в середине пролёта балки. В процессе испытания измерялись прогибы в середине пролёта, для определения которых были расставлены три прогибомера часового типа: П-1 – в середине пролёта, П-2 и П-3 – на опорах.

Нагружение образца производилось до $P=120 \text{ кН}$. При этом никаких признаков разрушения не наблюдалось. Максимальный прогиб цельной балки при нагрузке $P=120 \text{ кН}$ составил $14,72 \text{ мм}$, а образца со стыком – $23,47 \text{ мм}$.

На рисунке 3. приведены графики нарастания прогибов в цельной балке и в балке со стыком. Как видно, прогибы образцов отличаются незначительно. Имеющиеся отклонения можно отнести к некоторому разбросу модуля упругости древесины склеенной из отдельных досок, вполне возможно имеющих разные механические характеристики.

Как показали экспериментальные исследования, работа соединения отличается повышенной надёжностью вследствие снижения опасности хрупкого разрушения от скалывания и большим вовлечением соединяемых деревянных элементов в вязкую работу на смятие. Этому способствует надёжная связь клеевой прослой-

ки между шайбой и древесиной соединяемых элементов по площади гнезда, что способствует повышению монолитности соединения и увеличению площади скалывания.

Экспериментально установлено, что работа соединения носит упругопластический характер с явно выраженными упругими деформациями на первых этапах нагружения и ростом пластических деформаций на последних этапах. Испытания показали реальную возможность использования жёстких узлов соединения на клеенных шайбах.

Для дальнейшего изучения работы жёстких стыков деревянных элементов с применением клеенных стальных шайб, разработан жёсткий узел сопряжения элементов балочной структуры, представленный на рисунке 4.

Цель исследования: изучение напряжённо-деформированного состояния жёсткого узла сопряжения элементов балочной структуры при различных комбинациях статических нагрузок.

Исходя из поставленной цели, методика экспериментальных исследований включает в себя разработку следующих вопросов: выбор формы и размеров образца; разработка и отладка технологии изготовления узла балочной структуры с применением клеенных стальных шайб; выбор способа и схемы нагружения; подготовка и контроль узла перед испытанием; выбор испытательной установки и назначение контрольных нагрузок; выбор измерительных приборов, порядка измерений и наблюдений в процессе испытания; проведение испытания и обработка результатов.

При конструировании узла для обеспечения безопасной работы подбирается: количество шайб в узле ($n_{ш}$), диаметр и толщина стальных шайб ($D_{ш}$ и $t_{ш}$), шаг их расстановки (S_1, S_2), размеры металлических пластин и элементов, стяжные болты. До проведения испытания выполняются все соответствующие расчёты элементов и проверка прочности сварных швов.

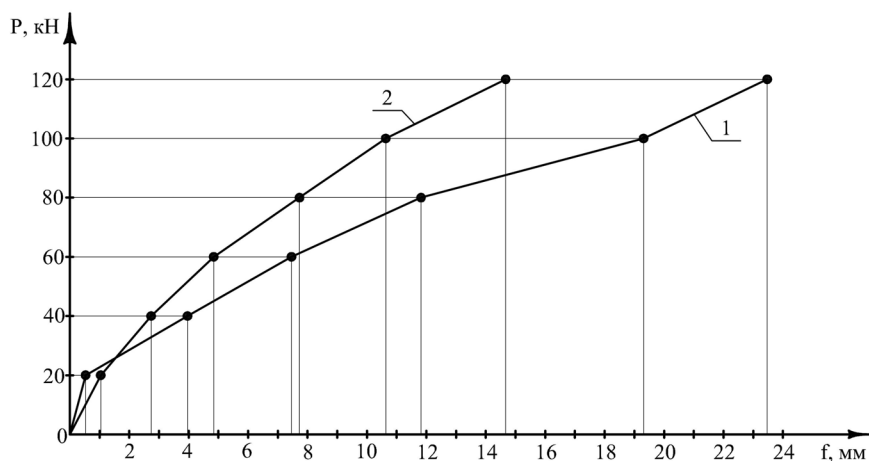


Рисунок 3. График зависимости прогибов балки от нагрузки:
1 – для балки со стыком; 2 – для цельной балки

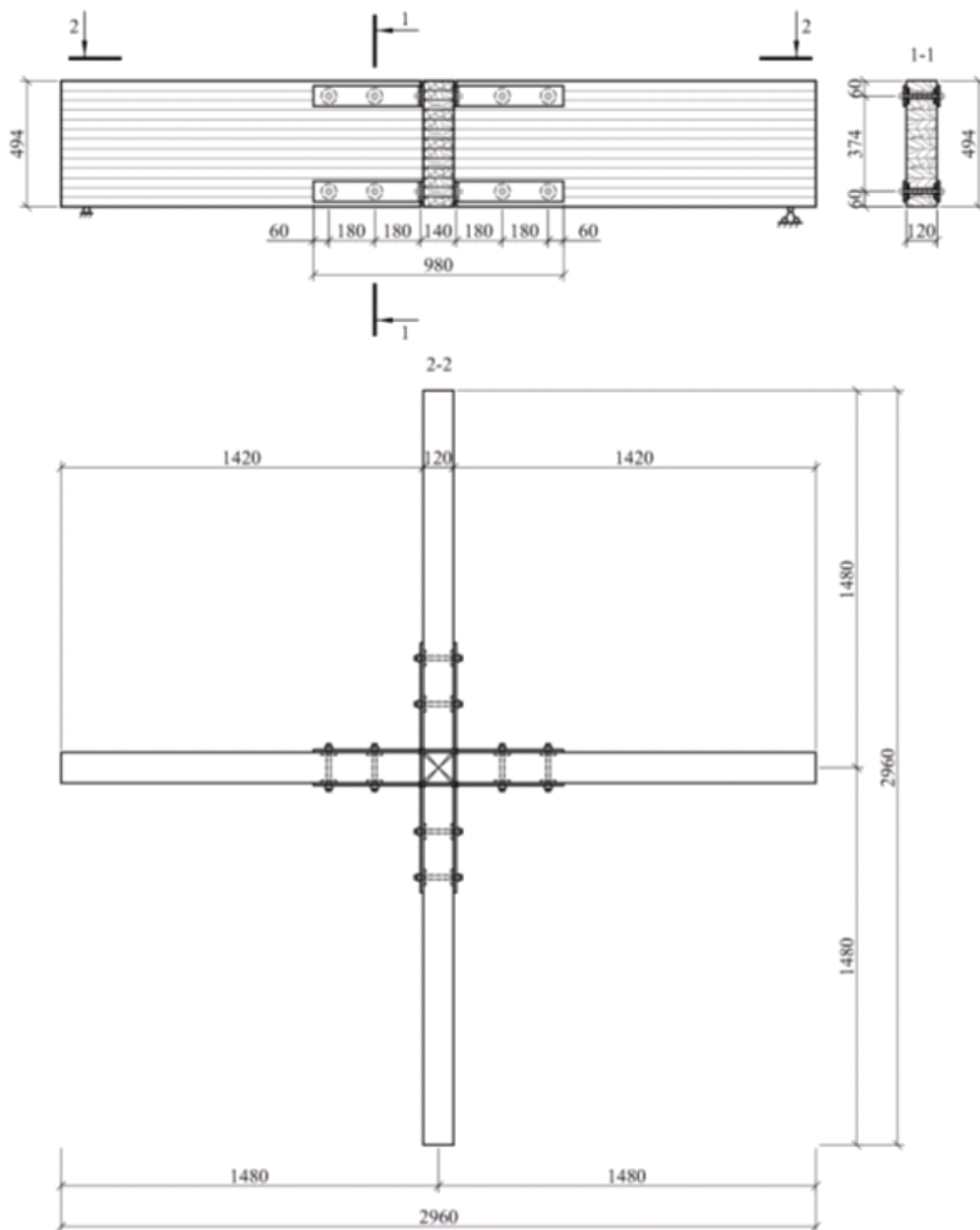


Рисунок 4. Общий вид жёсткого узла балочной структуры из клеёных деревянных элементов с применением вклеенных стальных шайб

В качестве прототипа основной схемы для проведения эксперимента принята балочная структура пролётом 12х12м, с размером ячейки 1,5х1,5м, опирание структуры осуществляется на стойки расставленные с шагом 1,5м по контуру. Структура рассчитана на действие равномерно распределённой по всей площади нагрузки равной 2,3кН/м².

В результате расчёта определены усилия, по которым подобрано сечение балочных элементов структуры по величине максимальных

усилий $M_{max} = 43,92 \text{ кНм}$, $Q_{max} = 16,53 \text{ кН}$, возникающих в структуре и по максимальному прогибу, возникающему в середине пролёта. Решающим критерием при этом стал прогиб, величина которого составила $f_{max} = 48 \text{ мм}$. Размеры сечения приняты следующими: $b = 120 \text{ мм}$, $h = 494 \text{ мм}$.

Ввиду особой сложности реализации эксперимента на натурной конструкции структуры и значительными материальными затратами, связанными с проведением испытаний большеразмерных конструкций, было решено

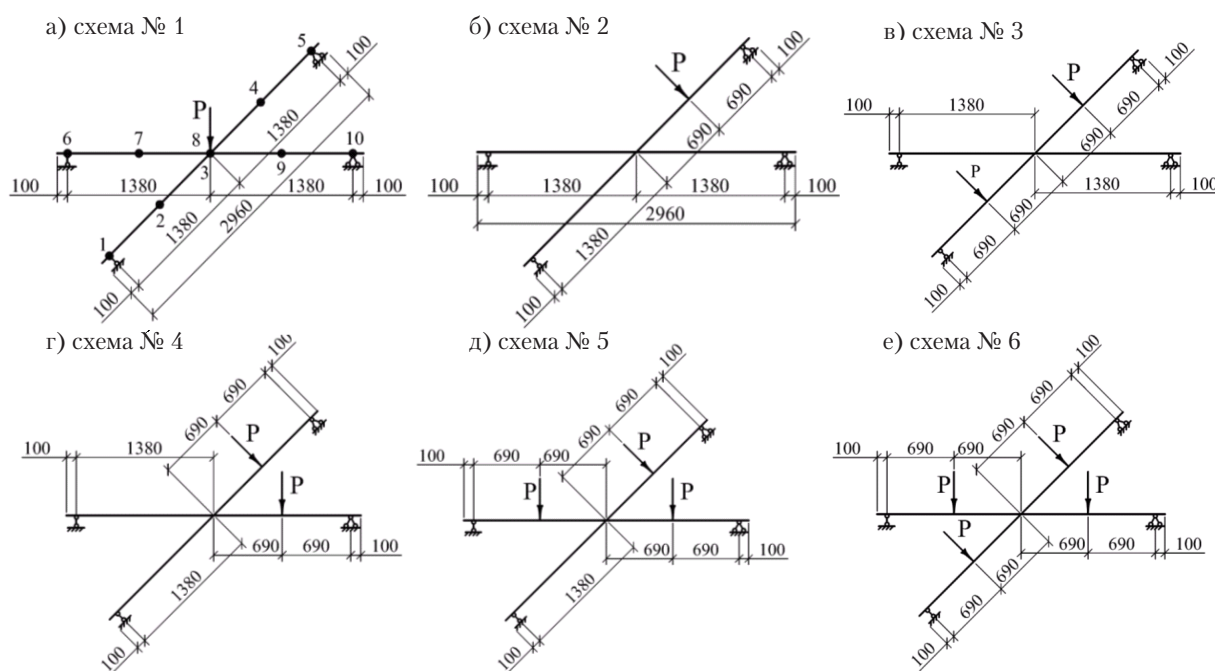


Рисунок 5. Схемы передачи нагрузки на испытываемый узел

Таблица 1. Величина изгибающего момента М (кН•м) и поперечной силы Q (кН)

№ схемы загрузки	Усилие	Номер сечения									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	М	0	0,17	0,34	0,17	0	0	0,17	0,34	0,17	0
	Q	0,25	0,25	0,025 -0,025	-0,25	-0,25	0,25	0,25	0,025 -0,025	-0,25	-0,25
2	М	0	0,06	0,11	0,40	0	0	0,12	0,24	0,12	0
	Q	0,08	0,08	0,08 0,42	0,42 -0,58	-0,58	0,17	0,17	0,17 -0,17	-0,17	-0,17
3	М	0	0,45	0,24	0,45	0	0	0,24	0,47	0,24	0
	Q	0,66	0,66 -0,34	-0,34 0,34	0,34 -0,66	-0,66	0,34	0,34	0,34 -0,34	-0,34	-0,34
4	М	0	0,17	0,34	0,52	0	0	0,17	0,34	0,52	0
	Q	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25 0,75	0,75	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25 0,75	0,75
5	М	0	0,29	0,58	0,64	0	0	0,57	0,32	0,57	0
	Q	-0,42	-0,42	-0,42 -0,08	-0,08 0,92	0,92	0,83	0,83 -0,17	-0,17 0,17	0,17 -0,83	-0,83
6	М	0	0,69	0,69	0,69	0	0	0,69	0,69	0,69	0
	Q	1,00	1,00	0	1,00	1,00	1,00	1,00	0	1,00	1,00

оценку поставленных экспериментом задач проводить на отдельном фрагменте структуры, включающем характерный узел с жёстким сопряжением балочных элементов друг с другом. К тому же именно работа жёсткого узла определяет в основном надёжность работы всей структуры, поэтому в дальнейшем можно полученные результаты учесть при разработке рекомендаций по проектированию и расчёту структур.

Испытываемый фрагмент жёсткого узла изготавливается из четырёх унифицированных клеёнощитовых элементов прямоугольного поперечного сечения 120x494мм. Материалом для испытываемых образцов принята древесина сосны II сорта, влажность древесины досок в процессе испытаний принималась близкой к $W = 12\%$.

Важным этапом эксперимента является выбор способа нагружения и возможность изменения способа передачи нагрузки, исходя из реальных условий работы испытываемого образца.

Основными схемами нагружения приняты следующие:

1. Симметричное нагружение всех четырёх балочных элементов одной силой в центре узла (рис. 5,а);
2. Одностороннее нагружение одного из балочных элементов (рис. 5,б);
3. Нагружение двух балочных элементов одного направления (рис. 5,в);
4. Нагружение двух ортогональных балочных элементов (рис. 5,г);
5. Нагружение трёх балочных элементов (один не нагружен) (рис. 5,д);

6. Симметричное нагружение всех четырёх элементов узла (рис. 5,е).

Все схемы нагружений предварительно были рассчитаны на статические нагрузки. Эпюры усилий для всех шести схем нагружения построены с помощью программно-вычислительного комплекса SCAD при величине силы $P=1кН$.

Зависимость между максимальным моментом M_{max} и силой P можно записать в виде выражения: $M_{max}=k \cdot P$. При $P=1кН$, $M_{max}=k$. Вычисленная максимальная величина коэффициента k для характерных сечений каждой схемы нагружения приведена в табл. 1. Маркировка сечений показана на схеме №1 (рис. 5,а). Для остальных схем маркировка сечений аналогична.

Как видно, схемы нагружения позволяют всесторонне изучить работу жёсткого узлового соединения при различных способах передачи нагрузки и различной величине усилий. Важным достоинством предлагаемого способа нагружения является то, что все вышеописанные схемы могут быть созданы с применением одного или двух домкратов и лишь для некоторых нагружений под домкраты могут быть использованы перераспределительные балочные траверсы.

В процессе проведения испытаний предусматривается измерение деформаций и напряжений металлических и деревянных элементов, перемещений всей системы и отдельных элементов, углов поворота стыкуемых балочных элементов, а также визуальный осмотр всех нагружаемых элементов, деталей и всей системы.

18.11.2013

Список литературы:

1. Гётс, К.Г. Атлас деревянных конструкций / К.Г. Гётс, Д. Хоор, К.Мёллер, Ю. Наттерер; пер. с нем. Н.И. Александровой; под ред. В.В. Ермолова. – М.: Стройиздат, 1985. – 272с.
2. Карлсен, Г.Г. Конструкции из дерева и пластмасс / Г.Г. Карлсен, В.В. Большаков, М.Е. Каган. – М.: Стройиздат, 1975. – 686с.
3. Шмидт, А.Б. Атлас строительных конструкций из клееной древесины и водостойкой фанеры / А.Б. Шмидт, П.А. Дмитриев. – Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2002г.
4. Вдовин, В.М. Конструкции из дерева и пластмасс / В.М. Вдовин. – Ростов н/Д: Феникс, 2007. – 250с.
5. Вдовин, В.М. Вклеенные металлические шайбы в соединениях деревянных конструкций: моногр. / В.М. Вдовин, М.В. Арискин, Д.Д. Дудорова. – Пенза: ПГУАС, 2012. – 184с.

Сведения об авторах:

Ишмаева Дарья Дмитриевна, аспирант кафедры строительных конструкций Пензенского государственного университета архитектуры и строительства
e-mail: Ishmaeva.dd@gmail.com

Вдовин Вячеслав Михайлович, профессор кафедры строительных конструкций Пензенского государственного университета архитектуры и строительства, кандидат технических наук, профессор 440028, Пенза, ул. Германа Титова, 28, ауд. 3111, 3101, тел: (8412) 482737, e-mail: stroyconstpguas.ru