

## Усовершенствование узла сплачивания конструкций из цельной древесины составного сечения

*А.А. Клюкин*

*Национальный исследовательский московский государственный строительный университет*

**Аннотация:** В настоящей статье приведены основные рекомендации конструирования узлов цельнодеревянных конструкций. Рассмотрена основная схема жесткого узла стыка меридиональных ребер покрытия. На основе результатов испытаний и расчетов сделаны выводы по возможности усовершенствования данного узла. Представлены некоторые рекомендации по усилению узла без увеличения металлоемкости конструкции. Показаны несколько схем усовершенствования сплачиваемых конструкций. Сделаны выводы по возможности реализации приведенных примеров в проектируемых конструкциях.

**Ключевые слова:** деревянная конструкция, полноразмерные образцы, механические связи, цельная древесина, призматический свод, монтажный элемент, полимербетон, расчетная модель, неразрезной прогон, быстровозводимые конструкции.

На кафедре металлических и деревянных конструкций НИУ МГСУ разработаны, изготовлены и испытаны полноразмерные образцы узлов конструкций составного сечения из цельной древесины [1] с применением механических связей [2, 3]. Рассматриваемые конструкции могут использоваться в осваиваемых и отдаленных от производств клееных изделий районах Крайнего Севера и Сибири, где особое внимание будет уделено использованию местных легкодоступных материалов и скорости монтажа.

Экспериментальные образцы представляют собой элементы ребер покрытий в виде призматических сводов или шатровых конструкций (рис.1). Пролеты покрытий могут быть от 12 до 42 м. Ребра конструкций собираются из двух или четырех элементов, стыкуемых между собой по длине при помощи соединения закладных деталей. Такие детали могут быть разъемными для образования сборно-разборных конструкций.

Узлы образуются из двух прямолинейных стержней, соединенных между собой на наклонных ввинченных стержнях [4, 5]. Для плотного

---

примыкания двух частей ребер в стыковом шве выполнено замоноличивание полимербетоном, что позволяет сгладить неточность изготовления элементов и обеспечить передачу усилия по всей высоте поперечного сечения узла.

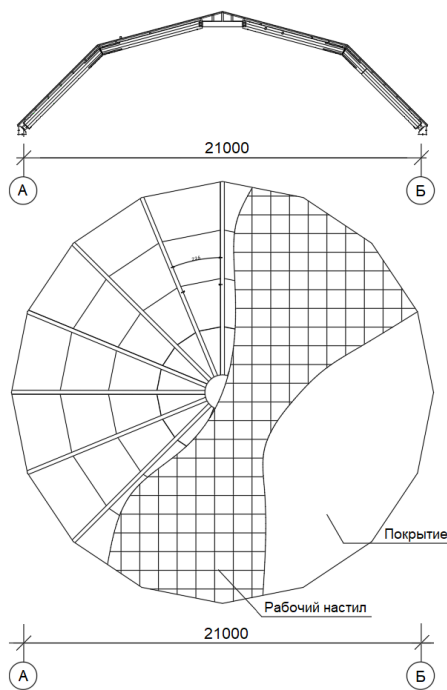


Рис. 1. – Схема проектируемого купольного покрытия с ребрами из цельной древесины составного сечения.

Металлические связи сами по себе являются податливыми [6]. Увеличении числа связей, использование больших диаметров стержней и применение металлических накладок, делает возможным рассмотрение данного узла как жесткого соединения.

Прямолинейные ребра (рис. 2) образуются сплачиванием двух или трех брусьев [7, 8]. При подготовке к эксперименту были выбраны сечения  $3 \times (15 \times 15 \text{ см.})$ , т.е.  $15 \times 45 \text{ см.}$  При таких размерах брусьев возможно удобное размещение тензорезисторов в разных направлениях с длиной базы 60мм, что позволяет подробно изучить напряженно-деформированное состояние узла, определить главные напряжения и увеличивает точность показаний. В реальных проектах сечение необходимо принимать в соответствии с расчетами и конструктивными требованиями.

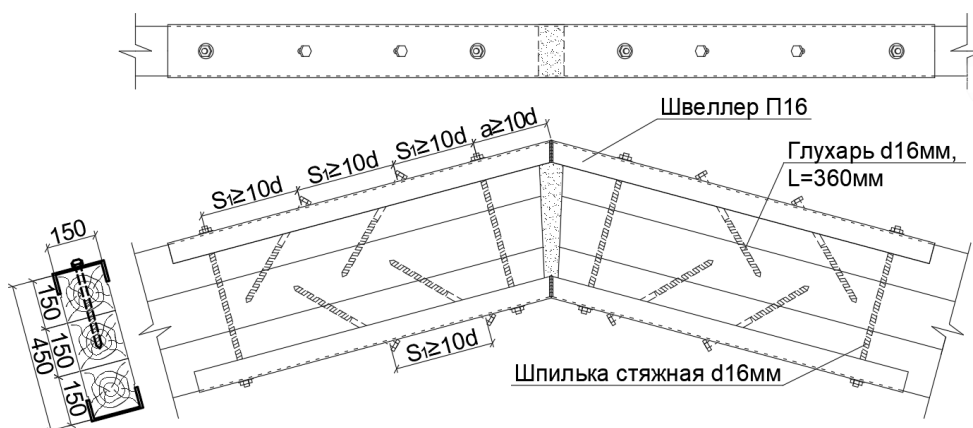


Рис. 2. – Схема узла сплачивания цельнодеревянных элементов.

Характер разрушения конструкций в ходе испытаний показал, что нет необходимости увеличения числа металлических связей в узле перегиба. Количество, диаметры и длины стержней достаточны. В увеличении металлоемкости прокатных деталей также нет необходимости. Разрушение не является хрупким и происходит в пролетной части по древесине. Швеллеры в сжатой и растянутой зонах не деформированы, нет трещин в полимербетоне, не образуются новые трещины в брусках. Узлы без затяжек также были испытаны в силовой раме MTS и доведены до разрушения.

После проведения практических испытаний в программном комплексе ANSYS была создана уточненная расчетная модель. В новой модели учтены трение между брусками и работа стержней на площадке контакта между элементами, отражающая реальную картину происходящего. Расчетная модель показала максимальные деформации в пролетной части и на опорных участках (рис.3). В основном, это деформации сдвига между верхним и средним брусками, что обусловлено эксцентриситетом в опорной части. Ввинченные стержни при больших деформациях сдвига между брусками работают как пластичные шарниры. Деформативность увеличивается, но при этом конструкция не разрушается. В области узла перегиба деформации минимальны при проектных нагрузках. После разрушения конструкция продолжала нести нагрузку.

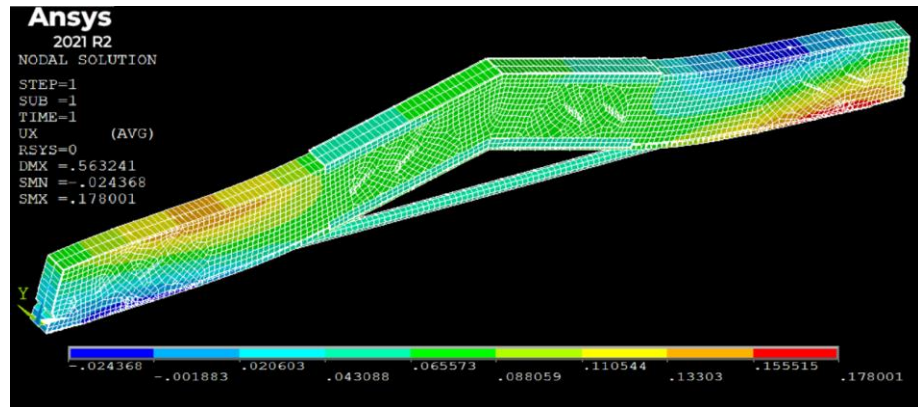


Рис. 3. – Перемещения в расчетной модели узла.

Учитывая вышеперечисленное, предложим некоторые усовершенствования конструкции узлов. Для более технологичного крепления прогонов к меридиональным ребрам, швеллер можно заменить на полосу (рис.4).

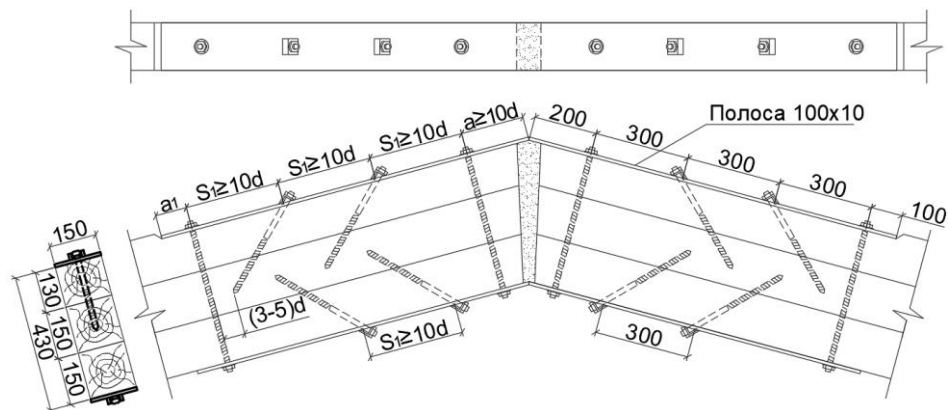


Рис. 4. – Схема исследуемого узла. Вариант 2.

Данный вариант подойдет для крепления прогонов сбоку, при этом можно добиться включения обшивки в работу всего каркаса. Для того, чтобы скрыть металлические детали под обшивкой, можно уменьшить сечение верхнего бруса по всей длине полосы. Это позволит повысить предел огнестойкости узла сплачивания меридиональных ребер. Данный вариант узла можно выполнить без сварки, просто согнув волосы под заданный угол. Этот метод сплачивания позволит избежать этап формования закладных деталей на заводе и исключить опасность возникновения пожара при сборке узлов. Также данный узел без сварных швов можно применять в различных

промышленных сооружениях для хранения и переработки химически агрессивных веществ.

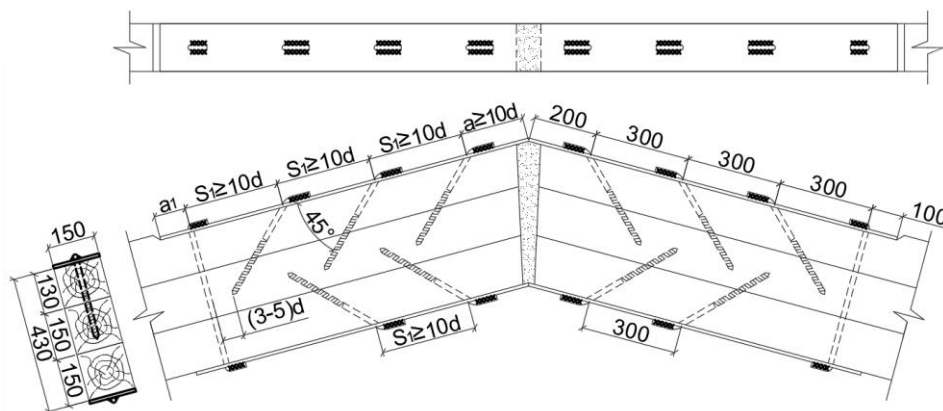


Рис. 5. – Схема исследуемого узла. Вариант 3.

Следующий вариант конструкции узла представляет собой замену стержней с шайбами на привариваемые к полосе (рис.5). Стяжную шпильку можно заменить на дополнительный наклонный стержень в сжатой зоне, что повышает количество пластических шарниров между брусками и увеличивает живучесть конструкции при запроектных нагрузках. Данный тип узла можно применить совместно с круглыми стержнями вместо полосы и скрыть соединения внутри сечения бруса. Приваренные стержни практически не выступают за габарит сечения в отличие от ввинченных с наклонной шайбой. Недостатком такого варианта узла может стать сложность завинчивания специальными головками и последующий загиб стержней. Данный тип узла подходит для проектирования постоянных сооружений.

По данным исследованиям можно сделать следующие выводы: первоначальный вариант конструкции меридиональных ребер нуждается в доработке и сравнительном анализе.

Вариант №2 является сборно-разборным. Обладает высокой скоростью монтажа. Не имеет никаких ограничений для возведения при отрицательных температурах. Имеет низкую стоимость. Данный узел может быть выполнен

сплачиванием двух брусьев по высоте и шириной сечения от 100мм. Применение полосы при сплачивании деревянных конструкций уже нашло широкое применение в проектах. Совместное использование наклонных стержней и стальной полосы отображено в нормах и отработано в ходе многочисленных испытаний в лаборатории деревянных конструкций ЦНИИСК им Кучеренко.

Вариант №3 не является разборным, скорость монтажа несколько больше, чем у других. Не подходит для возведения конструкций при низких температурах. Негативным фактором может стать приварка стержней к пластине, примыкающей к брусу. Сохраняется риск возникновения пожара.

Для строительства объектов инфраструктуры осваиваемых районов подходит второй вариант узла. В дальнейшем планируется усовершенствовать методику расчета пространственных конструкций из цельнодеревянных элементов, с учетом совместной работы обшивки, меридиональных и кольцевых ребер. Это приведет к уменьшению объемов и собственного веса древесины в несущих элементах. А применение многократно статически неопределимой схемы обеспечивает живучесть несущего каркаса при запроектных нагрузках и разрушении части элементов. Ведется сравнительный анализ экономической эффективности конструкции покрытия с двойной и одинарной обшивок. Также выполняется работа по увеличению предела огнестойкости предложенных конструкций, это может достигаться путем исключения металлических пластин из расчета после монтажа кольцевых ребер и обшивки. Для еще большего повышения жесткости узлов сплачивания меридиональных ребер и снижения деформативности, могут быть применены клеевинченые стержни [9, 10], но это неизбежно приведет к увеличению стоимости и скорости монтажа. Также для возведения радиопрозрачных сооружений можно все металлические детали заменить на полимерные.

---

## Литература

1. Пятикрестовский К.П., Травуш В.И., Погорельцев А.А., Клюкин А.А. Разработка конструкций из цельной древесины для объектов инфраструктуры. // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2018. т. 14. № 1. С 145-154.
  2. Столповский Г.А., Жаданов В.И., Руднев И.В. Соединения элементов деревянных конструкций быстровозводимых зданий и сооружений винтовыми крестообразными нагелями. - Вестник Оренбургского государственного университета. 2010. № 5 (111). С. 150-154.
  3. Walford G. Bryan. Tests on nailed and glued layered timber cylindrical shells. ASCE J Struct Div. Vol. 106. 1980. pp. 247-263.
  4. Линьков В.И. К оценке деформативности соединений деревянных элементов на наклонных металлических стержнях без применения клея. // Строительная механика и расчет сооружений, № 3. – М.: -2017, С. 11-14.
  5. Найчук А.Я., Бабаев М.В. К вопросу оценки несущей способности стальных винтовых стержней, завинченных под углом к волокнам древесины. // Промышленное и гражданское строительство. М.: 2010. № 1. С. 21-23.
  6. Stern E. George. Nailed Fitch beams and griders providing opportunities in wood construction. // Virginia Polytechnic Institute & State University Department. VA, USA. 1982. pp. 55-64.
  7. Жаданов В.И., Аркаев М.А., Котлов В.Г. Экспериментальные исследования деревянных балок, усиленных витыми крестообразными стержнями. // Промышленное и гражданское строительство. М.: 2017. № 11. С. 5-11.
  8. Линьков В.И. Напряженное состояние наклонных металлических стержней в деревянных элементах составного сечения // Инженерный вестник Дона, 2019, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5592](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5592).
-



9. Кавелин А.С., Тютина А.Д., Нуриев В.Э., Колтакова В.А. Армирование деревянных конструкций // Инженерный вестник Дона, 2019, №8. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2019/6156](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2019/6156).

10. Линьков В.И. Повышение несущей способности соединений на наклонных ввинченных стержнях // Инженерный вестник Дона, 2020, №11. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2020/6688](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2020/6688).

### References

1. Pyatikrestovskij K.P., Travush V.I., Pogorel'cev A.A., Klyukin A.A. International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2018. t. 14. № 1. pp. 145-154.

2. Stolpovskij G.A., ZHadanov V.I., Rudnev I.V. Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. 2010. № 5 (111). pp.150-154.

3. Walford G. Bryan. Tests on nailed and glued layered timber cylindrical shells. ASCE J Struct Div. Vol. 106. 1980. pp. 247-263.

4. Lin'kov V.I. Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenij, № 3. М.: 2017, pp. 11-14.

5. Najchuk A.Ja., Babaev M.V. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. М.: 2010. № 1. pp. 21-23.

6. Stern E. George. Virginia Polytechnic Institute & State University Department. VA, USA. 1982. pp. 55-64.

7. ZHadanov V.I., Arkaev M.A., Kotlov V.G. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. М.: 2017. № 11. pp. 5-11.

8. Lin'kov V.I. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5592](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5592).

9. Kavelin A.S., Tyutina A.D., Nuriev V.E., Koltakova V.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, №8. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2019/6156](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2019/6156)

10. Lin'kov V.I. Inzhenernyj vestnik Dona, 2020, №11. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2020/6688](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2020/6688).

---