

## Особенности проектирования и расчета жесткого узла трехшарнирной деревянной арки на клеенных стержнях

Буйницкий Н.Н.

Научный руководитель: Згировский А.И.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

В последние годы в строительстве особой востребованностью пользуются здания и сооружения с пролетами более 30 м. Для подобных строений применяют массивные арки, рамы и фермы. Для отдельных большепролетных сооружениях по физическим, эстетическим и технологическим свойствам наиболее рационально применять сборные несущие конструкции из древесины с устройством жестких узлов.

Сборные клеедеревянные конструкции (КДК) из отдельных блоков с устройством жестких узлов на клеенных стержнях (система ЦНИИСК) получили распространение в Республике Беларусь. Но большинство таких конструкций производится в Российской Федерации.

Особенностью системы данных конструкций позволяют получить различные конструкции пролетом свыше 100 м из унифицированных элементов. Благодаря большой прочности и компактности стыки могут устраиваться в любом сечении конструкции по пролету без увеличения габаритов сечения, без накладок и пр. [4].

В зарубежной практике применяются большепролетные конструкции (в основном пространственные конструкции) из деревянных элементов пролетами до 100 м и более. Широкое применение данные конструкции получили в спортивных (стадионы, хоккейные арены, крытые бассейны, теннисные корты), выставочных, общественных (железнодорожные станции), складских сооружениях с агрессивной средой, дорожных сооружениях (пешеходные и автомобильные мосты) [5].

Одна из проблем при проектировании и монтаже арочных конструкций – устройство жестких узловых соединений сплочения отдельных частей полуарок (отправочных элементов). В деревянных конструкциях узловое соединения никогда не будут полностью жесткими и на практике изгибающий момент в них будет ниже расчетного [7].

Существуют варианты устройства жестких узлов арочных конструкций: наклонно клеенных стержнях и стальных накладках; нагелей через врезные вертикальные или горизонтальные прокладки; зубчатого шипа с клеенным стержнем и стальной прокладкой; клеештыревого соединения с металлическими фланцами и полимербетоном; на клеенных стержнях, с полимербетоном и фанерными накладками; двусторонних накладок из профильной стали и болтов; соединения на клеенных стальных стержнях и деревянных накладках [6].

В данной статье приведены результаты исследований конструктивного решения и анализа несущей способности жесткого узла деревянной арки пролетом 72 м на клеенных стержнях и стальных накладках.

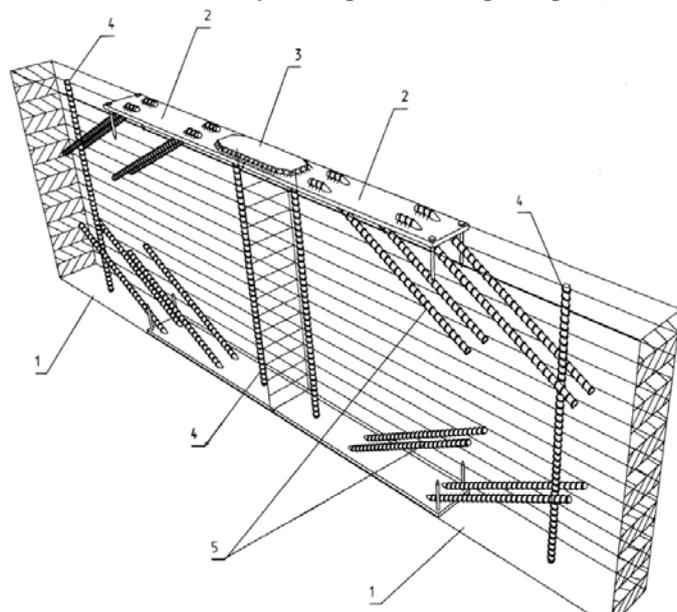


Рис. 1 Исследуемый жесткий узел на клеенных стержнях Общий вид:

1 - стыкуемые элементы арок; 2 - накладки из полосовой стали; 3 - монтажные накладки из стали; 4 - арматурные стержни, клеенные поперек волокон (при необходимости); 5 – клеенные наклонные арматурные стержни под углом 30-45 градусов.

Жесткие стыки рассчитываются на усилия, действующие в данном узле. Жесткие монтажные стыки большепролетных арок рекомендуется устраивать в сечениях с небольшими изгибающими моментами.

Конструктивное решение жесткого узла на клеенных стержнях отправочных элементов клеелесной арки пролетом 72 м под расчетную нагрузку (постоянную, снеговую, ветровую, полезную) показано на рис.2. Жесткий узел сопряжения представляет собой две части полуарки, соединяемых посредством стальных арматурных стержней, четырех накладок из полосовой стали и двух монтажных накладок. Согласно статического расчета плоской арки в программном комплексе «Lira», усилия в данном узловом соединении будут соответствовать усилиям в табл. 1. Недостаток данного программного комплекса – не распознает криволинейную поверхность, импортированную из AutoCAD (появляется необходимость разбиения криволинейного элемента на прямые составляющие). Программный комплекс «SCAD» лишен данного недостатка.

Для проектирования и расчета данного узла первоначально необходимо задаться определенными параметрами (диаметром арматурного стержня, длиной клеенной части, угол, взаимное расположение арматурных стержней) после чего выполняют проверку соблюдения норм.

Согласно [1] в качестве клеенных в древесину стержней следует использовать стальную арматуру периодического профиля класса S400 диаметром 12-25 мм; угол наклона стержней к волокнам древесины от 30° до 45°; длина клеивания стержней не менее 0,6h для сжатых стержней и не менее 20d – для растянутых.

К металлическим накладкам обеих частей полуарки, соединенных сварным соединением с отгибами арматурных стержней периодического профиля S400  $\phi$ 20 мм, клеенных под углом 30° в древесину. Минимально регламентированный угол принимаю для возможности расстановки клеенных стержней с обеих сторон отправочного элемента арки, минимизации количества арматурных стержней при возможности применения максимальной длины анкеровки в древесину.

Диаметр отверстия в древесине для установки стержней следует принимать на 4-6 мм больше номинального диаметра клеиваемого стержня.

В качестве клея следует использовать эпоксидные клеи [2].

Длина клеенной части арматурного стержня в древесину  $l = 1100$  мм. Расположение арматурных стержней принимаю двухрядное по 3 стержня в каждом ряду. Расположение арматурных стержней в один ряд (возможность такого использования считаю нецелесообразным в связи с вероятным появлением усилий, действующие на арку из плоскости).

«V»-образное расположение арматурных стержней обусловлено тем, что в верхней части сечения арка работает на растяжение, а нижняя - сжимаемая зона. Соответственно одна часть анкеров работает на продавливание, другая часть на выдергивание.

Таблица 1 Наихудшее сочетание усилий в жестком узле (статический расчет арки).

Усилия		
N (кН)	M <sub>y</sub> (кН*м)	Q <sub>z</sub> (кН)
-489.638	879.286	123.494

В жестком узле действуют продольная и поперечная силы и момент.

Согласно нормативной документации [1,2] арматурные стержни работают на выдергивание и продавливание (при этом нормальные напряжения в растянутых и сжатых стержнях не должны превышать расчетных сопротивлений арматуры соответственно сжатию и растяжению) следует рассчитывать по формуле:

$$R_d = f_{sv,90,d} \cdot k_{\sigma} \cdot k_{nF} \cdot \pi d_o \cdot l_d \cdot n k_{n4} \cdot k_{n5} \cdot k_{n6}, \quad (1)$$

Данная формула применима для расчета стержней, работающих на продавливание или выдергивание поперек волокон древесины. При расчете клеенных под наклоном стержней, расчет необходимо производить на усилия, полученные путем из разложения в пластине по направлению стержней из условия (1), в котором вместо  $f_{sv,90,d}$  принимается  $f_{sv,\alpha,d} = 3,5$  МПа (для ели и сосны) [1].

В качестве основы при моделировании жестких узлов сопряжения принята арка кругового очертания пролетом 72,0 м, сечением 300x1728(h) мм.

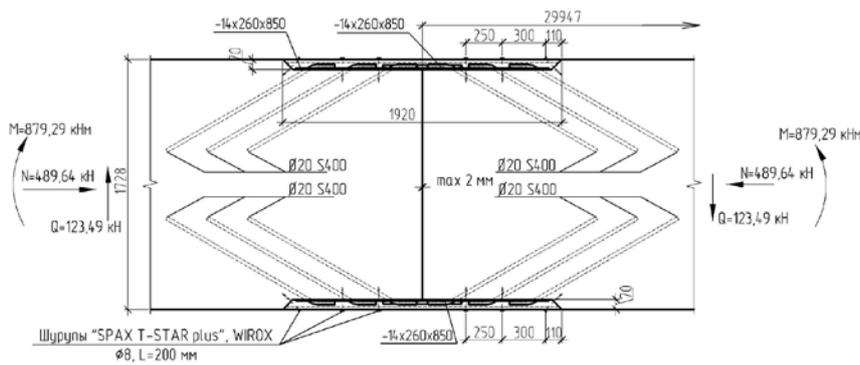


Рис. 2. Проектируемый жесткий узел. Вариант конструирования.

В связи с тем, что вычисление прогибов элементов полуарок и деформаций каждого отдельного вклеенного арматурного стержня в результате действия нагрузки трудоемкие и громоздкие, то в данном случае использование 3D-модели более целесообразно, так как ускоряет время расчета и позволяет получить достаточно точный результат.

Для расчета узлового соединения на основе полученных усилий статического расчета арки, производится моделирование узла в программном комплексе Ansys SpaceClaim (геометрия узла) с последующим импортом модели в Altair SimSolid.

Геометрию узла задаем в программном комплексе Ansys SpaceClaim: краевое расстояние анкеров от торца узла 175 мм, от грани арки – 70 мм; межосевые расстояния 140 мм по ширине арки и 280 мм по длине металлической пластины.

Длину металлической пластины определяю исходя из расположения, приваренных к ней арматурных стержней.

В программном комплексе Altair SimSolid задаются характеристика материалов, связи, нагрузки. Физические связи между элементами создаются в автоматическом режиме (в ручном режиме удаляется связь между двумя элементами полуарок, т.к. расстояние между ними не должно превышать 2 мм, программа по умолчанию объединяет элементы до 3 мм).

В результате вычислений, сечения пластины закладной детали и арматурные вклеенные стержни подобраны верно (максимальное напряжение в монтажной пластине 205 МПа).

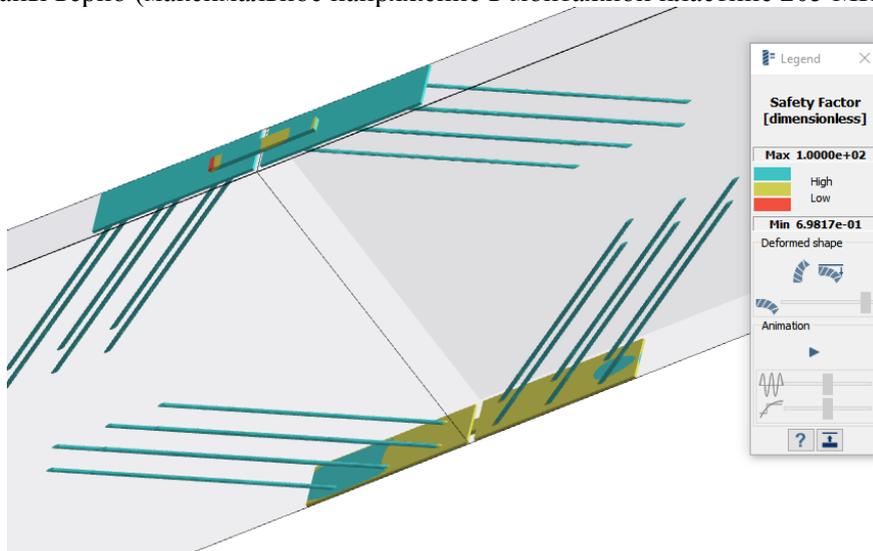


Рис. 3. Коэффициент использования элементов узлового соединения.

### Выводы:

Проектирование и расчет деревянных большепролетных конструкций с устройством жестких стыковых узлов на вклеенных стержнях достаточно сложный и трудоемкий процесс: для расчета необходимо использование от трех различных программных комплексов.

Для проектирования трехшарнирной арки необходимо пройти следующие этапы:

- сбор нагрузок;
- предварительного статический расчет арки;
- определение основных сечений арки;

определение оптимального места расположения жесткого узла стыка элементов полуарки; конструирование, моделирование и расчет непосредственно узлового соединения.

Усложняет процесс проектирования и конструирования на территории Республики Беларусь отсутствие актуализированных норм, экспериментальной базы и опыта проектирования.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ТКП 45-5.05-146–2009. Деревянные конструкции. Строительные нормы проектирования / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск: РУП «Минсктиппроект», 2009. – 63 с.
2. СП 64.13330.2011. Деревянные конструкции. Нормы проектирования – М.: МСиЖКХ РФ, 2016 – 108 с.
3. Пособие по проектированию деревянных конструкций (к СНиП II-25-80)/ЦНИИСК им. Кучеренко – М.: Стройиздат, 1986. – 216 с
4. Калугин А.В. Деревянные конструкции. Учебное пособие – М.: Издательство АСВ, 2003. – 224 с
5. Турковский С.Б., Погорельцев А.А., Преображенская И.П. Клееные деревянные конструкции с узлами на клеенных стержнях в современном строительстве (система ЦНИИСК) – М.: РИФ «Стройматериалы», 2013. -308с.
6. Шмидт А.Б., Дмитриев П.А. Атлас строительных конструкций из клееной древесины и водостойкой фанеры: Учебное пособие. – М., Издательство АСВ, 2001 – 292 с.
7. Roberto Crocetti – Large span timber structures. Division of Structural Engineering Lund University.