

УДК 694.141

ЖЕСТКИЕ СТЫКИ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ КЛЕЕНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ АРОЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

А.И. Згировский

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: aleksander52@tut.by

Рассмотрены различные варианты стыков большепролетных арок. Выполнена оценка влияния их конструкции на напряженно-деформированное состояние.

Ключевые слова: арка, полуарка, узел, деревянные конструкции.

RIGID JOINTS OF LARGE-SPAN GLUED WOODEN ARCH STRUCTURES

A. Zgirovsky

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

e-mail: aleksander52@tut.by

Various options for joints of large-span arches are considered. The influence of their design on the stress-strain state has been evaluated.

Keywords: arch, semi-arch, node, wooden structures.

Одним из основных источников валютных поступлений для Республики Беларусь остается экспорт калийных удобрений. В последние годы наращивается производство калийных удобрений, объем производства планируется увеличить за счет Петриковского и Нежинского горно-обогатительных комбинатов. Планируется, что в 2025 году мощность Петриковского ГОК вырастет до 1,5 млн. тонн концентрата в год. Проектная мощность Нежинского предприятия по добыче калийной руды и по производству калийных удобрений составит до 2 млн. тонн в год. Кроме того, проектируется и возводится новый горно-обогатительный комбинат в Дарасино в Минской области.

В зависимости от назначения сооружения, технологических процессов и архитектурных требований, арки проектируют различного очертания. Пролет складов для хранения солей традиционно составляет от 18 м до 45 м. Для хранения концентрата калийных удобрений традиционно используют большепролетные клееные деревянные арки двух типов по форме очертания: стрельчатые трехшарнирные и треугольные. На Солигорских горно-обогатительных комбинатах, а также в Березниках, Соликамске использовались ранее арки стрельчатого очертания пролетом 45 м, которые образовывались из двух полуарок длиной около 34 м. В последнее время широко применяются также арки треугольного очертания (Красносельское РУ, Петриковский ГОК, Гарлыкский ГОК и др.) пролетом 45 м, которые образуются из двух прямолинейных балочных элементов длиной по 30 м. В последнее время наблюдается тенденция к увеличению пролета складов для хранения калийных удобрений. Это связано с современными требованиями по условиям хранения и новой технологией складов калийных удобрений. Однако применения большепролетных арок не всегда возможно, что объясняется сложностью их изготовления и трудностью транспортировки. Так как арки являются конструкциями заводского изготовления, многое зависит от технологических возможностей производства для склеивания длинномерных изделий, т.е. от длины прессы. Чем длиннее пресс, тем более гибким будет технологический процесс на этом производственном участке. Кроме того, на современных прессах, возможно, выполнить склеивание изделий различного очертания и конфигурации. Большинство прессов, используемых для склеивания де-

ревянных конструкций, имеют длину в пределах 18-30 м, пресса длиной более 30 м встречаются реже. Стапель ЗАО «Солигорского института проблем ресурсосбережения с опытным производством» в г. Солигорске позволяет склеивать деревянные конструкции длиной до 38 м и является самым крупным на территории СНГ.

Монтажные стыки большепролетных арок устраивают в следующих случаях: длина отправочного элемента превышает максимальные габариты стапеля для склеивания длинномерных деревянных элементов; размеры конструкций превышают предельно допустимые при транспортировке до строительной площадки. В этих случаях необходимо членение длинномерных конструкций на два-три элемента с последующей их стыковкой на строительной площадке. Осуществление такого стыка довольно сложно, в таком случае необходимо обеспечить равнопрочность и неразрезность стыка по отношению к основному элементу. При стыковке двух элементов полуарок трудно добиться равномерного распределения по всей площади сечения осевой нагрузки. Обычно стык устраивают в сечении с наименьшими значениями изгибающих моментов. Практическое применение получили наибольшее применение стыки на клеенных стержнях, которые не лишены недостатков.

Стыковка элементов полуарок производится при помощи дополнительной соединительной полосы, которая приваривается к стальным соединительным деталям, сваренные с клееными стержнями. Устройство монтажных стыков в условиях строительной площадки довольно трудоемкое и ответственное занятие (сварочные работы ведутся в непосредственной близости от древесины).

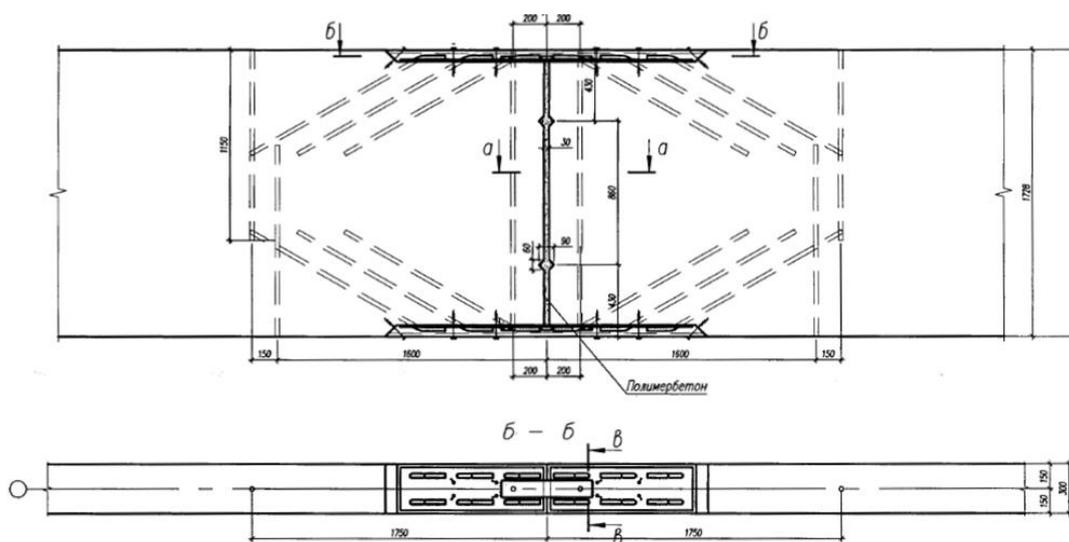


Рисунок 1. – Монтажный стык деревянных элементов на клеенных стержнях

В последних разработках арочных покрытий, например, в складах готового продукта Гремячинского ГОК, применили полуарки в двухпролетном здании шатрового типа (рисунок 2). Ширина этого склада составляет 100 м, два пролета по 50 м. Основные несущие конструкции – двухшарнирные гнутоклееные полуарки с шагом 6 метров с опорами на разных уровнях. Изготовить и транспортировать такие длинномерные полуарки весьма проблематично, поэтому полуарки расчленили на три отправочных элемента заводского изготовления, а уже на строительной площадке объединили в единый элемент на сварке при помощи клеенных стержней [1-3, 5]. Полуарка состоит из трех частей: нижней опорной криволинейной зоны, среднего прямолинейного участка, верхней криволинейной зоны. Подобное очертание вызвано как условиями технологии складирования продукта, так и возможностью транспортировки клеенных деревянных элементов для монтажа полуарок).



Рисунок 2. – Общий вид склада готового продукта Гремячинского ГОК

В республике Беларусь в Любанском районе для Нежинского ГОК предприятия «Нежин Недра» под склад готовой продукции запроектировано однопролетное здание шатрового типа (рисунок 3). Основные несущие конструкции – трехшарнирные гнутоклеенные арки пролетом 72,6 м с опорами в одном уровне. Высота склада в коньке около 30 м. Перед монтажом такие полуарки собирались из двух элементов с устройством одного жесткого стыка на клеенных стержнях (рисунок 1). Полуарка состоит из двух частей: нижней опорной криволинейной зоны и верхнего клюшкообразного участка. По конфигурации полуарки как склада готового продукта Гремячинского ГОК, так и склада Нежинского ГОК имеют сходство в виде среднего прямолинейного участка. В обоих случаях склады оборудованы полупортальными кратцер-кранами. В обоих складах имеется центральная подпорная стена, на которую опираются кратцер-краны. На складе Гремячинского ГОК подпорная стена, кроме того, является опорой для двухшарнирных полуарок. На складе Нежинского ГОК подпорная стена служит только опорой для кратцер-кранов, и нагрузка от покрытия на неё не передается.



Рисунок 3. – Склад готовой продукции Нежинского ГОК пролетом 72.6 м в процессе монтажа (слева). Отправочные элементы полуарки перед отправкой на стройку (справа)

Следует отметить другие объекты на территории Республики Беларусь, в которых также использовались стыки на клеенных стержнях. Это арочные покрытия плавательного бассейна, прыжкового бассейн и крытого катка спортивного комплекса Полесского государственного университета в г. Пинске, склад минеральных удобрений в г. Гомеле.

Деревянные клееные арки имеют широкую область применения. При строительстве большепролетных конструкций, особенно двухшарнирных деревянных арочных также актуальным является устройство жестких стыков. На территории Республики Беларусь были сооружены сезонный каток в Силичах и закрытые теннисные корты.

Сезонный каток в Силичах представляет собой одноэтажное прямоугольное в плане здание, со встроенным блоком вспомогательных помещений. Несущими конструкциями катка являются сборные двухшарнирные клееные деревянные арки эллиптического очертания. Жесткость здания обеспечивается деревянными распорками и стальными крестовыми связями, связывающими между собой деревянные арки. Габаритные размеры здания катка в плане 71.0x38.0 м, максимальная высота здания в коньке – 11.10 м. Арки установлены с шагом – 5.0 м. Сечение несущей двухшарнирной арки постоянного прямоугольного сечения 200x1080 мм. Арка состоит из четырех отправочных элементов, которые были смонтированы в единый элемент при помощи трёх жестких стыков. Монтажные стыки располагаются в зоне конька арки и в четвертях (рисунки 3-6). Стык отправочных элементов осуществляется при помощи Т-образных стальных деталей, установленных в вертикальные пропилы в верхней и нижней гранях арки. Передачи усилий с элемента на элемент выполняется при помощи стальных нагелей диаметром 20 мм. Стык перекрывается с двух сторон вертикальными фанерными накладками толщиной 20 мм. Фанерные накладки крепятся четырьмя стальными шпильками с двух сторон от стыка. Монтажный стык двухшарнирной арки представлен на рисунках 5 и 7.



Рисунок 4. – Общий вид катка в Силичах



Рисунок 5. – Общий вид жесткого стыка

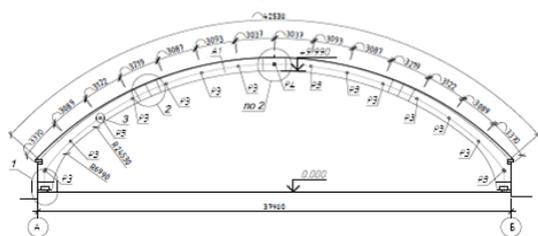


Рисунок 6. – Поперечный разрез катка

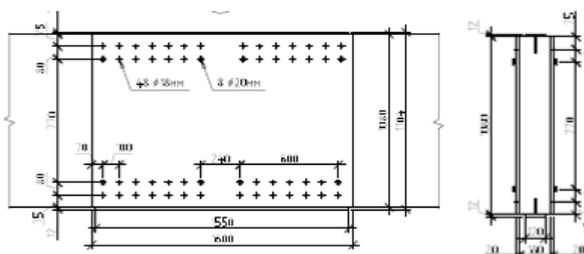


Рисунок 7. – Конструкция жесткого стыка

Закрытые теннисные корты на три игровые площадки имеют тентовое покрытие. Несущими конструкциями являются также двухшарнирные клееные деревянные арки эллиптического очертания. Габаритные размеры здания катка в плане 46.0x32.6 м, максимальная высота здания в коньке – 10.50 м. Арки установлены с шагом – 6.0 м. Сечение несущей двухшарнирной арки постоянного прямоугольного сечения 112x1020 мм. Арка состоит из четырех отправочных элементов, которые монтировались при помощи жестких стыков. Монтажный стык отправочных элементов осуществляется при помощи стальных нагелей диаметром 20 мм и клееных деревянных накладок толщиной по 90 мм. В монтажном стыке в коньковой зоне арки

стальные нагели располагались по окружности. Симметричные стыки в четвертях по длине арки в два ряда относительно арки (рисунок 8).



Рисунок 8. – Два варианта монтажных стыков деревянных арок при помощи деревянных накладок

Конструктивно первый вариант соединения жесткого сопряжения (рисунок 8, слева) представляет собой части арочных элементов, соединяемых посредством стальных цилиндрических нагелей и двух деревянных накладок. Нагели расставлены по окружности симметрично на левой и правой части элементов. Диаметр стальных нагелей 20 мм, толщина клееных деревянных накладок 90 мм.

Второй вариант соединения жесткого узла (рисунок 8, справа) представляет собой арочные элементы, соединяемые также с помощью двух деревянных накладок и стальных цилиндрических нагелей. Нагели расположены симметрично в два ряда относительно оси арки соответственно сверху и снизу соединения. Диаметр стальных нагелей 20 мм, толщина накладок 90 мм. Имеются дополнительные нагели, расположенные конструктивно по оси арки.

Данные узловые соединения согласно нормативной документации проверяются на смятие древесины среднего и крайних элементов, а также на изгиб нагеля. В стыковом узле действуют изгибающий момент и продольная сила.

Для первого варианта в первом приближении принимаем диаметр нагеля. Диаметр окружностей принимаем из требования размещения нагелей – минимального расстояния между нагелями. Диаметр первой окружности соответственно равен разнице высоты полуарки и расстояния поперек волокон от края элемента до нагеля, умноженному на два. Расстояние между нагелями вдоль окружности принимаем как расстояние между нагелями вдоль волокон. Если согласно расчету количества нагелей, расположенных на первой окружности недостаточно, то располагаем их по второй концентрической окружности с диаметром равным разнице диаметра первой окружности и расстояния между нагелями вдоль волокон. Дальнейшее увеличение окружностей не рационально, так как при увеличении металлоемкости узла, общее усилие, воспринимаемое всеми нагелями, окружности вносит не значительный вклад в обеспечении несущей способности узла. Более рациональным будет размещение дополнительных нагелей по дугам окружности большей, чем первая.

Рассмотрим второй вариант, в котором нагели расположены симметрично в два ряда. В первом приближении принимаем диаметр нагелей. Расстояние между ними принимаем согласно нормативной документации. Так как полуарки состоят из пакета досок, то принимаем расстояния от кромки до центра нагеля и между центрами нагелей как для элементов, располагаемых поперек волокон. Ориентировочно располагаем нагели в два ряда сверху и снизу вертикальных деревянных накладок.

Раскладываем момент на пару сил, где первая из сил прикладывается по центру верхних рядов, а вторая соответственно по центру нижних рядов. Усилие, воспринимаемое узлом,

определяем по наименьшему из трёх значений: смятию древесины крайних и среднего элементов, а также изгибу нагеля. Тогда окончательно усилие, воспринимаемое одним нагелем, будет равно: наименьшему из трех значений умноженному на количество площадок среза. Количество нагелей по одну сторону узла вычислим путем деления силы, полученной при разложении момента на пару сил, на окончательное усилие, воспринимаемое одним нагелем. Полученное число округляем в большую сторону кратно двум, так как нагели располагаем в два ряда. Путем сравнения усилий, возникающих в узле и полученных в результате расчета, делаем выводы о несущей способности соединения. Соответственно из условия размещения нагелей находим длину накладок и далее окончательно проектируется узел исходя из конструктивных требований.

Более экономичным является второй узел по сравнению с первым. Это выражается в первую очередь меньшей металлоемкостью, так как количество нагелей для второго варианта меньше. Во-вторых, меньшей трудоемкостью в устройстве, потому что проще устроить отверстия, находящиеся на одной линии, чем для окружности. В-третьих, в элементах второго узла возникают меньшие напряжения, чем в элементах первого.

Анализ напряжено-деформированного состояния узлов показал, что напряжения в нагелях для первого варианта на 15 % больше, чем для второго. Первый узел является более архитектурно выразительным, его можно использовать при возведении зданий для культурно-массовых и зрелищных мероприятий и спортивных сооружений, так как он лучше вписывается в эстетичный вид сооружения. Такие узлы хорошо смотрятся в интерьере зданий с использованием клееных деревянных конструкций.

На рисунках, представленных ниже показаны варианты выполнения жестких стыков с использованием стальных накладок. На рисунке 9 стальные вертикальные установлены снаружи, на рисунке 10) стальная пластина установлена внутри стыка. В обоих случаях передача усилий производится через стальные цилиндрические нагели.



Рисунок 9. – Внешние стальные накладки



Рисунок 10. – Внутренняя жесткая стальная пластина

Выводы:

1. Использование стыков на клеенных стержнях приводит к увеличению стоимости изделия, возрастает трудоемкость изготовления за счет использования дополнительного металла и эпоксидного клея, которые в цельном элементе отсутствуют.
2. Увеличивается расход древесины и стоимость клееных деревянных элементов за счет выполнения торцовки (вместо двух – получаем четыре), а также дополнительного сверления по кондуктору под отверстия для клеенных стержней.
3. Цельный элемент обладает максимальной надежностью и эксплуатационной пригодностью. Гарантией надежности конструкции является коэффициент безопасности, который выше у цельных конструкций.

4. Также необходимо отметить, что любой стык приводит к повышению деформативности конструкции.

5. При выполнении стыков увеличивается возможность возрастания брака, нарушения допусков по размещению вклеенных стержней, из-за отклонения технологических операций при изготовлении от технологических регламентов.

6. Необходимость дополнительного раскрепления полуарки в плоскости и из плоскости элемента, в зоне стыка, при монтаже.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пособие по проектированию деревянных конструкций (к СНиП II-25–80) / ЦНИИСК им. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1986. – 216 с.
2. Фомичев В.Ф., В.В. Саяпин В.В., Оковитый А.В., Иванов В.А., «Методические указания по расчету и конструированию узловых соединений по курсу «Конструкции из дерева и пластмасс» / БГПА – Мн.: 1993, 63 с.
3. Проектирование деревянных конструкций: учебное пособие / Е.Н. Серов, Ю.Д. Санников, А.Е. Серов; под ред. Е.Н. Серова. – М.: Издательство АСВ, 2011. – 536 с.
4. Згировский А.И., Коледа С.М. О некоторых особенностях проектирования большепролетных арочных деревянных конструкций // Проблемы современного строительства / Материалы Международной научно-технической конференции – Мн.: 2019 – С. 66-73.
5. Турковский С.Б., Саяпин В.В. Исследование монтажных узловых соединений клеёных деревянных конструкций // Несущие деревянные конструкции: Сборник научных трудов / ЦНИИСК им. Кучеренко, – М., 1981. – С. 92-105.