

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ И ЖЕСТКОСТИ ТРЕХШАРНИРНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ АРОЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ РАЗЛИЧНОГО ОЧЕРТАНИЯ**

*ЗГИРОВСКИЙ А. И., КОЛЕДА С. М.*

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

На кафедре «Металлические и деревянные конструкции» совместно с Центром научных исследований и испытаний строительных конструкций БНТУ за последние годы накоплен опыт испытаний деревянных арочных конструкций различного очертания в натуральную величину. В Республике Беларусь деревянные арочные конструкции используются основном в качестве покрытия складов калийных удобрений, а также при возведении спортивных сооружений. Арки являются одним из наиболее эффективных типов несущих конструкций, как с экономической, так и с эстетической точек зрения. Клеодощатые арки в большинстве случаев проектируют прямоугольного постоянного сечения по длине пролёта, независимо от формы её очертания. Стрельчатые клеодощатые арки более трудоемкие в изготовлении по сравнению с арками других очертаний. Опыт проектирования и эксплуатации большепролетных клееных деревянных арок в стране составляет более полувека. Необходимость строительства складов связана с необходимостью хранения калийных удобрений и последующего их экспорта, которая остается одним из основных источников валютных поступлений в страну. Производство калийных удобрений в Республике Беларусь находится примерно на уровне 10 млн т в год. Такое количество хлорида калия обеспечивает в основном ОАО «Беларуськалий». Увеличить производство калийных удобрений в Республике Беларусь планируется после ввода в эксплуатацию Петриковского горно-обогатительного комбината и Нежинского горно-обогатительного комбината в Любанском районе [1].

Для хранения калийных удобрений чаще всего используют большепролетные клееные деревянные арки двух типов по форме

очертания: стрельчатые трехшарнирные и треугольные. Арки стрельчатого очертания пролетом 45 м образуются из двух полуарок длиной по 34 м. Традиционные клееные деревянные трехшарнирные арки пролетом 45 м, высотой в коньке 22,5 м имеют сечение  $300 \times 1070$  мм и устанавливаются непосредственно на фундаменте с шагом 3 м. В настоящее время такие арки производят при реконструкции старых складов. В процессе строительства и эксплуатации складских сооружений систематически проводились испытания. В процессе испытаний производились замеры перемещений в плоскости действия нагрузки. Оценка напряженного состояния определялась по результатам замеров деформаций волокон древесины.

Испытание деревянной полуарки стрельчатого очертания проводилось по методике, разработанной в БНТУ с использованием опыта в проведении подобных экспериментов [2–4]. Схема испытания арок и схема расстановки приборов арок стрельчатого очертания представлена на рис. 1.

Полуарка устанавливалась в горизонтальном положении. Для исключения изгиба в вертикальной плоскости от собственного веса, полуарка опиралась на часто расположенные шарнирные линейные подкладки (рис. 2).

Концы полуарки были соединены стальной затяжкой из арматурной стали. В центре затяжки была вмонтирована нагружающая траверса. Траверса смонтирована таким образом, что при нахождении в ней домкрата мощностью 50 тс, затяжка натягивалась, и на концы полуарки передавались сжатие, вызывающее в сечениях арки изгибающие моменты и продольные сжимающие силы.

Нагружение конструкции проводилось поэтапно, величина нагрузки одной не превышало 10 % от контрольной нагрузки по жесткости нагрузки и не более 20 % контрольной по прочности нагрузки. На каждой ступени нагружения полуарку выдерживали под нагрузкой 10–15 мин. После приложения контрольной нагрузки, полуарку выдерживали под нагрузкой не менее 30 мин. В ходе испытаний нагрузка ступенями была доведена до двух расчетных без разрушения. При испытании измерялись прогибы и сближение концов полуарки. Прогибы полуарки фиксировались в середине пролета, в четвертях и на опорах, для чего использовались прогибомеры БПАО.

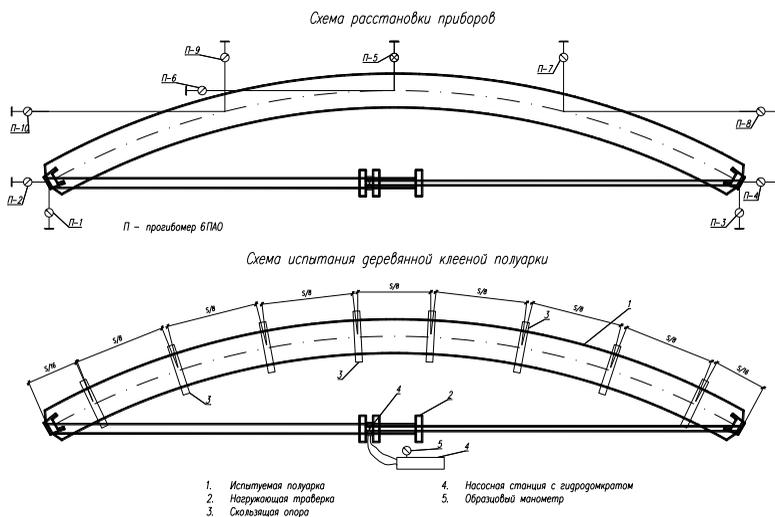


Рис. 1. Схема испытания арок стрельчатого очертания и схема расстановки приборов



Рис. 2. Испытание полуарки стрельчатого очертания на заводском стенде

В последнее время широко применяются арки треугольного очертания пролетом 45 м, которые образуются из двух прямолинейных балок длиной по 30 м. Шаг арок – 4,5 м, сечение 200 × 1332 мм. Опирание арок на фундамент на отм. +5,17 м и сопряжение в коньке – шарнирное.

Арки такого очертания применялись на складе 5РУ «Белкалия», при строительстве Петриковского горно-обогатительного комбината и Гарлыкского ГОК (Туркменистан).

Треугольные арки, образованные из двух прямолинейных балочных элементов, наиболее просты и экономичны по сравнению с арками стрелчатого очертания. Обычно арки треугольного очертания выполняются с расцентровкой в опорном и карнизном узлах, что позволяет уменьшить пролетный изгибающий момент и размеры поперечного сечения балочных элементов. Однако такой способ возможен только при наличии равномерно распределенной нагрузки. При наличии сосредоточенной нагрузки, например от тельферов, подвесок, галерей, которыми оборудованы склады минеральных удобрений, эффект от расцентровки не проявляется

Первоначально планировалось проводить испытания нагружением деревянных арочных конструкций треугольного очертания склада руды (рис. 3) Петриковского ГОК в составе покрытия непосредственно на объекте (рис. 4), т. к. натурные испытания дают более точный результат. Схема приложения нагрузок была близка к схеме загрузки арки основной эксплуатационной нагрузкой от собственного веса покрытия, снега, ветра, а также от оборудования и руды. Расчетом была определена раскладка испытательного груза таким образом, чтобы в расчетном сечении деревянных арок возникали расчетные напряжения. Нагружать конструкцию предполагалось бетонными блоками. Предполагалось испытывать в составе покрытия блок шириной 4,5 м, состоящий из двух арок пролетом 45 м.

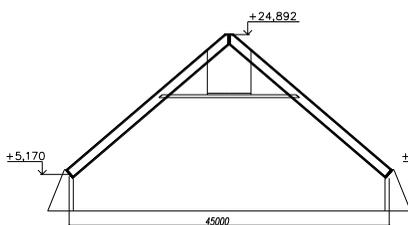


Рис. 3. Поперечный разрез склада Петриковского горно-обогатительного комбината

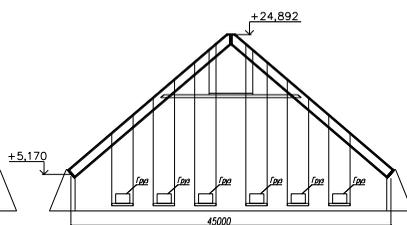


Рис. 4 – Схема испытания арок треугольного очертания нагружением бетонными блоками

Однако это потребовало значительных материальных затрат, связанных с изготовлением стальных подвесок и платформ для раскладки бетонных грузов, трудоемких монтажных работ при испытании конструкций нагружением, большого количества бетонных блоков, а также дополнительным усилением участков опирания арок и фундаментов.

Первоначальный вариант отклонили, и по желанию Заказчика было принято решение разработать универсальный стенд для испытания в лабораторных или заводских условиях (рис. 5). На испытательном стенде (рис. 6) были испытаны два балочных элемента. При склеивания балочных элементов использовался клей «AkzoNobel». Для испытания в лабораторных условиях предусматривалось крепления стенда к силовому полу. Так как испытания проводились на заводской территории СИПР с ОП (г. Солигорск) при отсутствии силового пола, нижний обвязочный пояс сборно-разборного стенда был пригружен бетонными блоками ФБС 24.6.6 (рис. 7). Балки в вертикальном положении испытывались на совместное действие продольной сжимающей силы и изгибающего момента. Продольная сила в балочном элементе создавалась при помощи гидравлического домкрата мощностью 100 тс, установленного горизонтально, а четыре вертикальных домкрата мощностью 25 тс создавали в балке изгибающий момент.

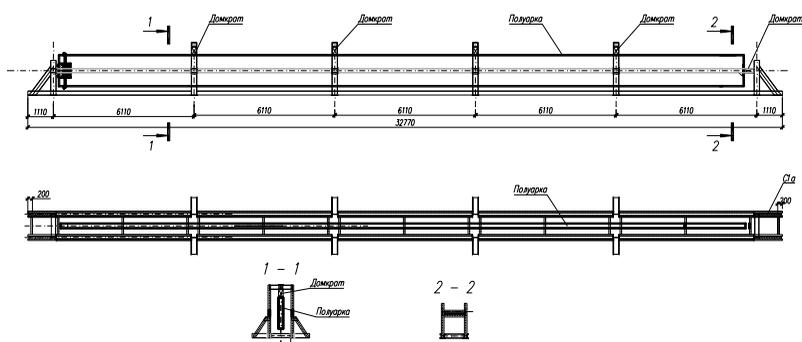


Рис. 5. Установка для испытания в натуральную величину клееных деревянных балочных элементов арки треугольного очертания

Нагружение конструкции проводилось поэтапно, на каждой ступени нагружения полуарку выдерживали под нагрузкой 10–15 мин.

В ходе испытаний нагрузка ступенями была доведена до двух расчетных без разрушения. При испытании измерялись прогибы, которые фиксировались в середине пролета, в четвертях и на опорах, для чего использовались прогибомеры БПАО. За время испытаний каких-либо признаков разрушения балочных элементов отмечено не было. При нагрузке равной двум расчетным прогиб балки составил 11,2 см, что составляет 1/268 пролета. Практически линейная зависимость деформаций от нагрузки свидетельствует об упругой работе древесины при испытании вплоть до последней ступени нагрузки.



Рис. 6. Монтаж деревянной балки в испытательный стенд



Рис. 7. Фрагмент нагружения клееных балок в испытательной установке

В зависимости от назначения сооружения и архитектурных требований, арки могут иметь различное очертание. Здание ФОЦ Парка высоких технологий в г. Минске имеет размеры в плане  $27 \times 42$  м, шаг арок 3 м. Арочное покрытие представляет собой трехшарнирные ассиметричные арки кругового очертания (рис. 8). Отметка верха арки в коньке +11,9 м. Отметки арки на опорах различные +4,2 м и +1,8 м. Арки были изготовлены в Турции и доставлены на объект автотранспортом. Заказчику понадобилась сертификация этих конструкций в части статических испытаний, но т. к. арки были уже

смонтированы, приняли решение проводить испытания в составе покрытия (рис. 9 и 10) нагрузкой близкой к расчетной.



Рис. 8. Общий вид в стадии монтажа арочного покрытия физкультурно-оздоровительного центра Парка высоких технологий

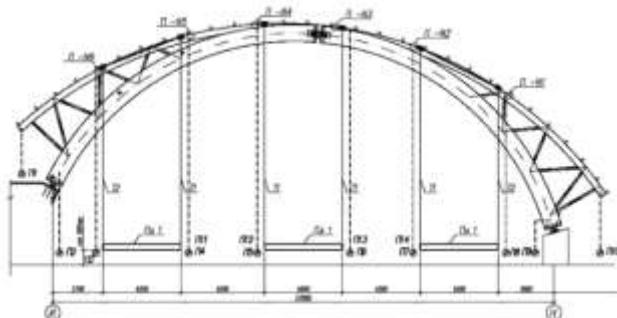


Рис. 9. Схема испытания арок покрытия кругового очертания



Рис. 10. Фрагменты испытания нагружением деревянных арок покрытия в составе покрытия

В Республике Беларусь в Любанском районе для Нежинского участка Старобинского месторождения запроектировали однопролетный склад угля (рис. 11). Основные несущие конструкции – трехшарнирные арки с шагом 4,5 м, пролетом 47 м. Арки опираются на фундамент на отметке +3,6 м. Высота склада в коньке 29,6 м, сечение арок 250 × 1632 мм. Полуарка имеет нижнюю опорную криволинейную зону и верхний прямолинейный участок. Склад оборудован подвесной галереей с конвейером и кратцер-краном.

Возможности стапеля завода клееных конструкций СИПР с ОП (г. Солигорск) позволяют производить конструкции длиной до 35 м. Для испытания длинномерной полуарки разработали стенд (рис. 11–13), в котором конструкция размещалась в горизонтальном положении. Полуарка опиралась на линейные подкладки, расположенные с шагом равным шагу распорок в конструкции.

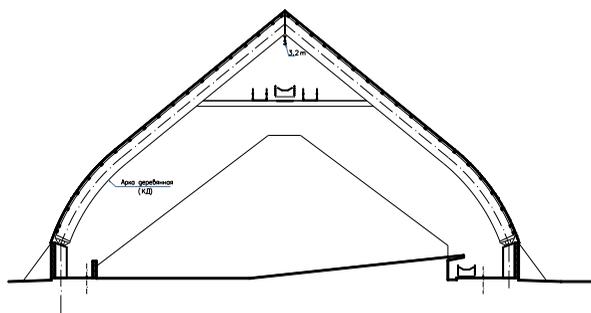


Рис. 11. Поперечный разрез склада угля Нежинского горно-обогатительного комбината пролетом 47 м



Рис. 12. Общий вид испытательной установки в процессе монтажа

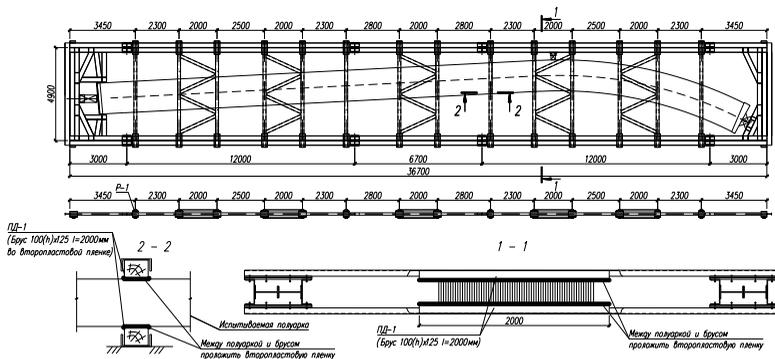


Рис. 13. Установка для испытания в натуральную величину клюшкообразных трехшарнирных полуарок склада руды Старобинского месторождения



Рис. 14. Нагружение клееных полуарок горизонтальной нагрузкой при помощи домкрата

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ТКП 45-5.05-146-2009 (02250). Деревянные конструкции. Строительные нормы проектирования. – Минск, 2010. – 63 с.
2. Ветрюк, И. М. Экспериментальное исследование прочности и жесткости клееных трехшарнирных арок склада сильвинита Солигорского калийного комбината // Клееные деревянные конструкции и технология их изготовления: сборник научных трудов / Гослесбуиздат. – М., 1962. – С. 171–178.
3. Згировский, А. И. Натурные испытания дощатоклееных полуарок, усиленных углеродволокном: сборник научных статей «Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров». – Гродно, ГрГУ им. Я. Купалы, 2010. – С. 86–90.
4. Рекомендации по испытанию деревянных конструкций. – М.: Стройиздат, 1976. – 28 с.