

## **О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ АРОЧНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

*ЗГИРОВСКИЙ А.И., КОЛЕДА С.М.*

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

В последние годы продолжается как рост цен на калийные удобрения, так и рост на их предложение, что очень важно для Республики Беларусь, для которой экспорт калийных удобрений остается одним из основных источников валютных поступлений. В перспективе наращивание мощностей в области производства калийных удобрений на пространстве СНГ следует рассматривать залежи Гремячинского, Непского и Эльтонского (Российская Федерация), Гарлыкского (Туркменистан) и др. месторождений. 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 возведения Петриковского горно-обогачительного комбината и Нежинского горно-обогачительного комбината в Любанском районе. Петриковский ГОК является самым масштабным инвестиционным проектом ОАО «Беларуськалий». Проект предполагает строительство рудника и сильвинитовой обогачительно-фабрики. Сдача в эксплуатацию первой очереди проекта предполагается в конце 2019 года. Планируется, что к 2025 году мощность комбината вырастет до 3 млн. т калия в год. Нежинское предприятие по добыче калийной руды и по производству калийных удобрений будет производить до 2 млн. т калия в год. Возведение объекта реализует ИООО «Славкалий» с участием китайской генподрядной компании энергетического профиля «China State Energy Engineering Corp.Ltd».

Для хранения калийных удобрений чаще всего используют большепролетные клееные деревянные арки двух типов по форме очертания: стрельчатые трехшарнирные и треугольные. Пролет складов для хранения солей обычно составляет от 18 м до 45 м. В

последнее время наблюдается тенденция к увеличению пролета. Ограниченность применения большепролетных арок объясняется трудностью их транспортировки. Кроме того, клееные арки являются конструкциями заводского изготовления, и многое зависит от технологических возможностей склеивания длинномерных изделий, т.е. от длины прессы. Чем длиннее пресс, тем более гибким будет технологический процесс на этом производственном участке. На длинном прессе возможно склеивание изделий различной конфигурации. Арки стрельчатого очертания пролетом 45 м образуются из двух полуарок длиной по 34 м. В последнее время широко применяются арки треугольного очертания пролетом 45 м, которые образуются из двух прямолинейных балок длиной по 30 м. Возможности стапеля ЗАО «Солигорского института проблем ресурсосбережения с опытным производством» в г. Солигорске для склеивания деревянных конструкций ограничиваются длиной 38 м.

В зависимости от назначения сооружения, технологических процессов и архитектурных требований, арки могут быть запроектированы и изготовлены различных очертаний. Диапазон очертаний арок довольно широк. Наиболее распространенными являются арки кругового очертания и стрельчатые арки, треугольного очертания из прямолинейных элементов. Встречаются арки эллиптического, параболического и гиперболического очертаний, а также арки из криволинейных элементов и арки из двух элементов различных радиусов.

Арки являются одним из наиболее эффективных типов несущих конструкций, как с экономической, так и с эстетической точек зрения. Клеодошчатые арки в большинстве случаев проектируют прямоугольного постоянного сечения по длине пролёта, независимо от формы её очертания. Стрельчатые клеодошчатые арки более трудоемкие в изготовлении по сравнению с арками других очертаний.

Арка с рациональной осью – это такая арка, в любом сечении которой изгибающий момент равен нулю. При равномерно-распределённой нагрузке рациональная дуга арки имеет параболическое очертание. На практике такие ситуации не встречаются. Обычно приходится учитывать совокупность различных по характеру нагрузок [2-4, 7].

Треугольные арки, образованные из двух прямолинейных балочных элементов, наиболее просты и экономичны по сравнению с арками стрельчатого 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.

В последних разработках арочных покрытий, например, в складах готового продукта Гремячинского ГОК, применили полуарки в двухпролетном здании шатрового типа (рисунок 1). Основные несущие конструкции – двухшарнирные гнутоклееные арки с шагом 6 метров с опорами на разных уровнях. Применение таких полуарок принято в первую очередь в зависимости от технологии складирования удобрений. Разумеется, что такие длинномерные полуарки весьма проблематично изготовить и транспортировать, поэтому полуарки расчленили на три отправочных элемента заводского изготовления, а уже на строительной площадке объединили в единый элемент на сварке при помощи вклеенных стержней [5, 6]. Полуарка состоит из трех частей: нижней опорной криволинейной зоны, среднего прямолинейного участка, верхней криволинейной зоны (рисунок 2). На наш взгляд очертание такой полуарки не является рациональным. Скорее всего, подобное очертание вызвано как условиями транспортировки, так и возможностью изготовления (ограничение длины стапеля для склеивания деревянных изделий).

В республике Беларусь в Любанском районе для Нежинского ГОК под склад готовой продукции запроектировано однопролетное здание шатрового типа (рисунок 3). Основные несущие конструкции – трехшарнирные гнутоклееные арки пролетом 72 м с опорами в одном уровне. Высота склада в коньке около 30 м. При изготовлении таких арок предполагается собирать полуарки из двух элементов с устройством одного жесткого стыка на вклеенных стержнях. 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 также имеют средний прямолинейный участок. В обоих случаях склады оборудованы полупортальными кратцеркранами. В обоих складах имеется центральная подпорная стена, на которую опираются кратцеркраны. На складе Гремячинского ГОК

подпорная стена 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.



Рис. 1. Общий вид склада готового продукта Гремячинского ГОК



Рис. 2. Монтаж полуарок склада готового продукта Гремячинского ГОК

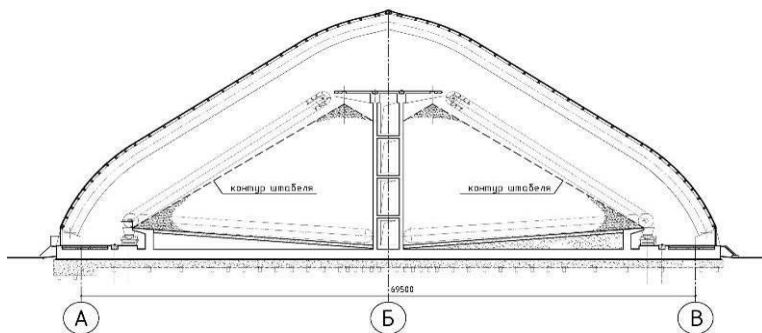


Рис. 3. Разрез склада готовой продукции Нежинского ГОК без кратцер-крана

При строительстве таких масштабных инвестиционных проектов необходимо уделять пристальное внимание рациональной форме арочных конструкций.

Поступило предложение сопоставить работу арок различного очертания на примере запроектированного склада Нежинского ГОК. Всего рассматривалось 4 типа арок: 1) центральный прямолинейный участок (рисунки 3 и 4); 2) нижний криволинейный участком на высоту  $1/3$  от высоты арки и прямолинейный участок до конька (рисунок 5); 3) полуарки, образованные сопрягающимися радиусами 20,9 м и 65,9 м (рисунок 6); 4) арки, составленные из двух полуарок кругового очертания с постоянным радиусом 50,9 м (рисунок 7). Координаты опорных шарниров и конька во всех случаях оставались постоянными. Все арки описывали контур рабочей зоны кратцер-крана. Для предварительной оценки конструктивных схем численные расчеты выполнялись в линейной постановке от единичной равномерно распределенной нагрузки. Конечно, такой подход учитывает не весь спектр возможных нагрузок, которые может воспринимать конструкция, поэтому существует необходимость дальнейшего изучения этой проблемы.

Исходя, из представленных расчетов следует, что из рассмотренных типов арок наиболее оптимальным будет вариант для полуарок кругового очертания (рисунок 7). Как видно из табл. 1, если продольная сила в целом изменяется незначительно, то существенное изменение изгибающего момента, приводит к увеличению поперечного сечения арок, и к расходу дорогостоящей клееной древесины.

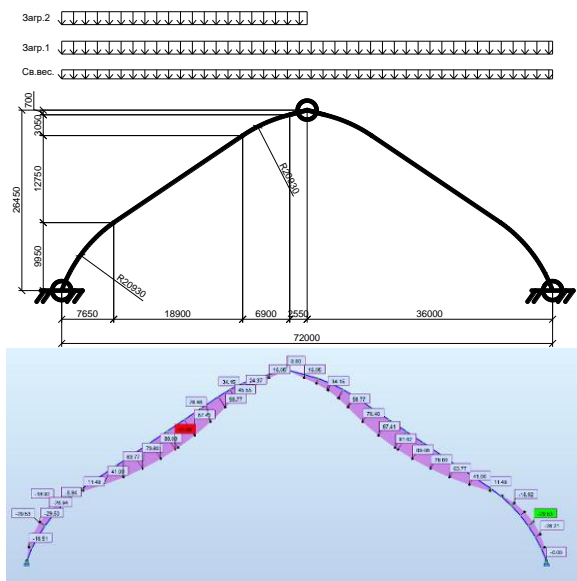


Рис. 4. Арка тип 1 – центральный прямолинейный участок

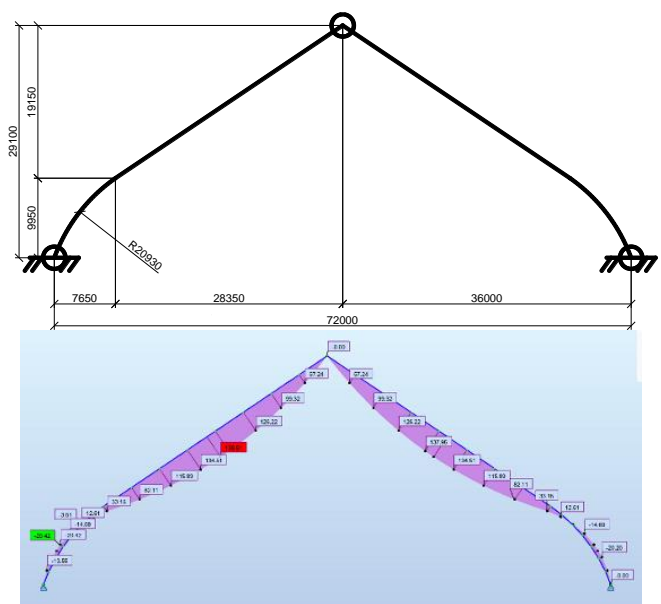


Рис. 5. Арка тип 2 – нижний гнутый карниз и прямолинейный до конька

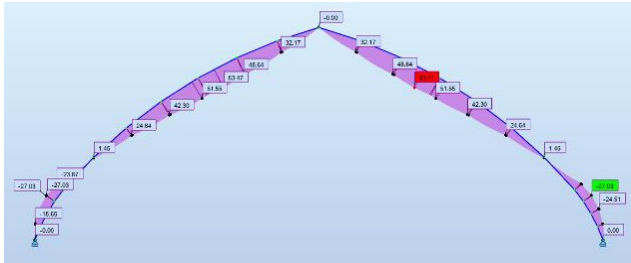
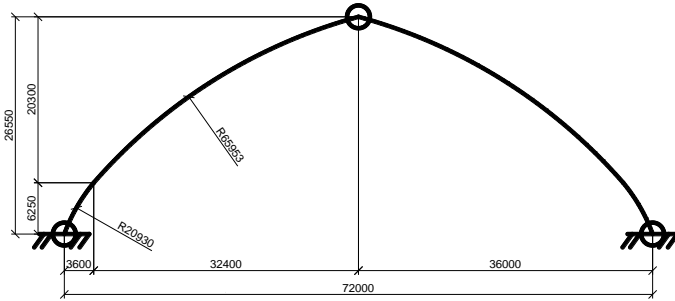


Рис. 6. Арка тип 3 – арки имеют участки с различными радиусами

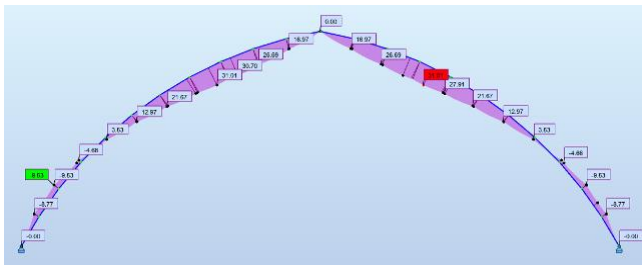
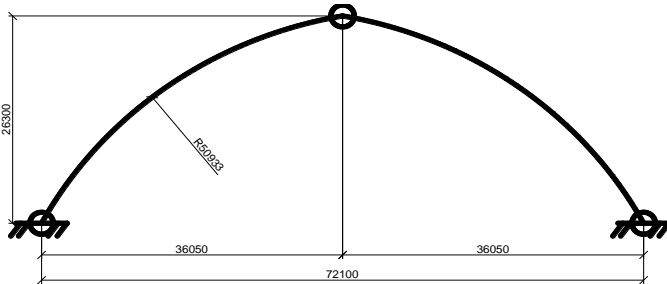


Рис. 7. Арка тип 4 – арки, составленные из двух полуарок кругового очертания с постоянным радиусом 50,9 м

Таблица 1

## Сравнение результатов численных исследований

№п/п	Тип арки	M, кНм	N, кН	$\sigma$ , МПа	Сечение, см	Площ. см <sup>2</sup>	Отнош.
1	Тип 1	1085	422	12,29	20x180	3600	1,63
2	Тип 2	1635	408	13,65	20x210	4200	1,9
3	Тип3	633	384	12,29	20x140	2800	1.27
4	Тип 4	365	388	12,35	20x110	2200	1

Как показали предварительные расчеты, только за счет использования рационального очертания арок, можно снизить стоимость арочных конструкций на 30-40%.

Кроме того, если рассматривать стоимость деревянных арок при строительстве складов калийных удобрений, то в общей стоимости СМР на арочные конструкции приходится до 80% от всей стоимости. А на железобетонные стены и фундаменты – 20%. Таким образом, снижение стоимости на возведение складов возможно исключительно за счет снижения расходов на арочные конструкции, что достигается за счет проектирования рационального очертания арок.

Дополнительного снижения нагрузок на арки (до 20%), уменьшения продольной силы, изгибающего момента, а в конечном итоге к снижению расхода дорогостоящей клееной древесины, возможно за счет отказа двойного перекрестного деревянного настила путем перехода на светопрозрачные полимерные настилы.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ТКП 45-5.05-146-2009 (02250). Деревянные конструкции. Строительные нормы проектирования - Мн.: 2010 – 63 с.
2. Калугин А.В. Деревянные конструкции. Учебное пособие– М.: Изд. АСВ, 2008. – 288 с.
3. Кормаков Л. И., Валентиавичюс А. Ю. «Проектирование клееных деревянных конструкций» / Будивельник – К.:1983, 152 с.
4. Серов Е.Н., Санников Ю.Д., Серов А.Е. «Проектирование деревянных конструкций» / Издательство АСВ - М.: 2011, 536 с.
- 5.