

Сравнительный анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований натурной арки из клееной древесины

В.В. Фурсов, М. Пурызданхах, А.Н Бидаков

В настоящее время Иран разрабатывает программу по применению клееной древесины в жилищном и сельскохозяйственном строительстве [1]. Нормативная база страны ориентирована на требования Еврокодов. Как известно, согласно EN-408 [2] основным видом испытаний клееных деревянных конструкций принят изгиб, причем сечения испытываемых моделей максимально приближены к реальным размерам. В настоящей статье обсуждаются результаты испытаний трехугольной безраскосной металлодеревянной фермы пролетом 12м. В отдельных источниках такая система носит название треугольной арки с затяжкой с прямолинейными клееными верхними поясами. Нижний пояс (затяжка) выполнена из двух стальных элементов углового профиля. Для обеспечения проектного положения затяжки крепят к верхним поясам на подвесках. Расстановка подвесок регламентируется условиями гибкости нижнего пояса, а также расположением подвесных балок [3, 4], например, при наличие чердачного перекрытия. Верхние пояса таких систем работают на внецентренное сжатие, либо на продольный изгиб, а в расчетах могут быть рассмотрены, как наклонно поставленные балки [5, 6]. Существуют два пути совершенствования таких конструкций: а) сопряжение узлов со смещением центра тяжести ниже нейтральной оси (т.е. создание искусственного эксцентриситета); б) симметричное, либо одностороннее армирование верхних поясов арок [7, 8].

В рамках сотрудничества с БелНИИ (Брест, Белоруссия) нам представилась возможность проведения испытаний, натурной арки из клееной древесины, изготовленной по нашему проекту в цехе научно-исследовательского института. В качестве верхнего пояса использовался клееный брус поперечным сечением 140 x 280 мм. Узлы решены с помощью

металлических башмаков. Верхний узел выполнен в виде лобового упора и парных боковых накладок. Затяжка представляет собой пару металлических уголкового профиля L50x5 которые приварены к стальным опорным башмакам. Для уменьшения изгибающих моментов устроен искусственный эксцентриситет посредством смещения упорного швеллера на 60 мм ниже нейтральной оси в нижнем узле и подрезкой на ту же величину в верхнем. Нагружение арки производилось домкратами грузоподъемностью 20т, установленными на стальную распределительную траверсу силовых рам в четвертях пролета. Общий вид испытания арки показан на рис.1.



Рис. 1. –Общий вид испытаний

В качестве измерительной аппаратуры использовались прогибомеры, индикаторы часового типа, а также датчики активного сопротивления базой 20 мм, и сопротивлением около 200 Ом, ориентировочными в виде розетки и подключенными к АИД-1. Общее количество датчиков составило около 60 штук. Схема расположения датчиков и измерительной аппаратуры в арке приведена на рис.2.

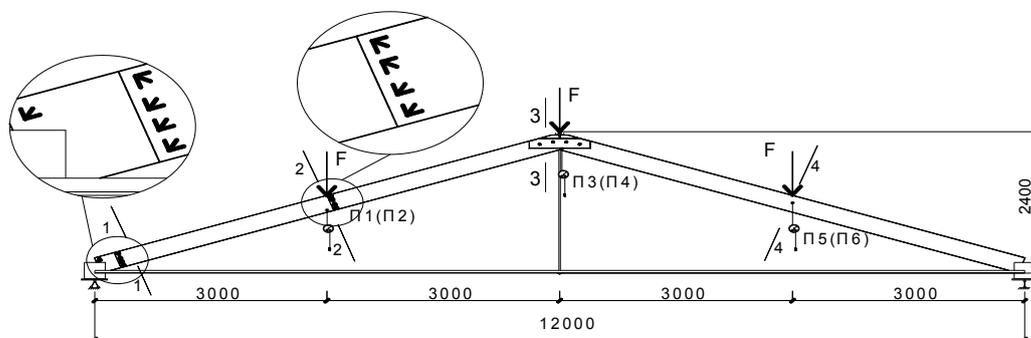


Рис. 2. – Схема загрузки арки и расположение измерительной аппаратуры

В процессе эксперимента фиксировалась влажность по всем поверхностям поясов, которая колебалась от 12 до 14 %, а также замерялась температура помещения, составившая в процессе эксперимента $+20\div 22^{\circ}\text{C}$ [2]. При этом относительная влажность в лаборатории не превышала 60%. После трехкратного нагружения и разгружения арки с шагом $-0,5\text{т}$ до $1,5\text{т}$ (что составляло около 25 % от разрушающей нагрузки) было осуществлено основное испытание арки. Нагружение осуществлялось ступенчато с шагом -1т . Поскольку, в следствии прямолинейности поясов, одностороннее нагружение в отличие от криволинейных арок, не вызывают появления момента на ненагруженном поясе арок одностороннее их загрузке не рассматривалось.

Перед испытаниями нами были осуществлены проверочные статические расчёты модели треугольной арки. Перед экспериментом в ручном режиме с помощью методов строительной механики были определены внутренние усилия M , N и Q для всех элементов сечений модели. Ручной счёт был подвержен экспертизе на расчётно-аналитическом комплексе SCAD Soft и с помощью постпроцессора «Декор».

По результатам расчёта при нагружения 6Тс , получены следующие результаты в соответствующих сечениях:

Сечение 1-1;	$M_x = -0,364(\text{т.м})$	$N_x = -11,03(\text{т})$	$Q_x = 3,32(\text{т})$
Сечение 2-2;	$M_x = 5,034(\text{т.м})$	$N_x = -9,564(\text{т})$	$Q_x = 0,324(\text{т})$
Сечение 3-3;	$M_x = -0,204(\text{т.м})$	$N_x = -8,365(\text{т})$	$Q_x = -3,32(\text{т})$

Разрушение пояса произошло при нагрузке $6,5\text{ т}$ и сопровождалось разрывом волокон в нижних зонах верхнего пояса (рис.3). Одновременно с разрушением пояса произошло разрушение монтажных накладок, соединяющие пояса в коньковом узле.

Обработанные результаты показаний датчиков позволили получить в поперечных сечениях графики нормальных и касательных напряжений при одинаковой нагрузке в сечениях 1-1 (близко к опорной части) и 2-2 (под местом приложения нагрузки).



Рис. 3. – Общий вид поясов арки после испытаний

Обработка показаний измерительной аппаратуры позволила построить графики прогибов балки, представленные на рис.4.

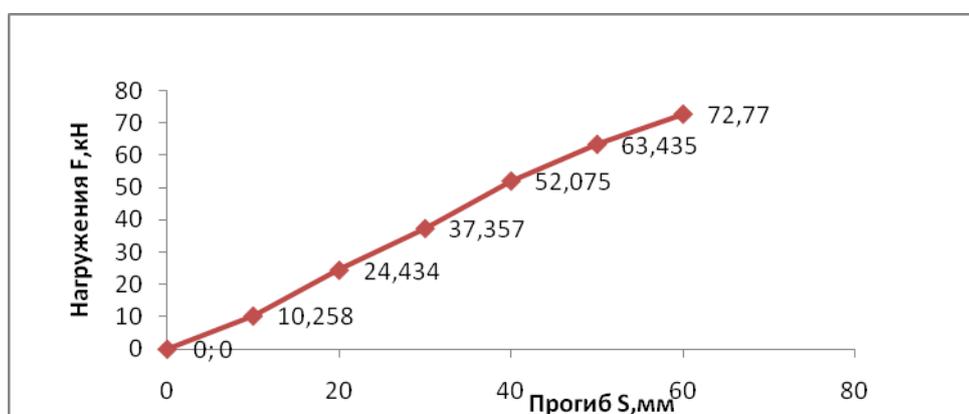


Рис. 4.– Прогиб в поясах арки (сечение 2-2)

Таблица № 1

Результаты экспериментальных исследований арок

№ сече ние	Размеры			напряжения и деформации при уровня нагрузки					
	b (мм)	h (мм)	L (мм)	3т (30кН)			6 т (60кН)		
				σ_x (кг/см ²)	τ_{xy} (кг/см ²)	f (мм)	σ_x (кг/см ²)	τ_{xy} (кг/см ²)	f (мм)
1-1	140	280	6462	23,9	0,5	1,6	90,7	12,2	14
2-2	140	280	6462	135	5,3	37,35	247,7	5,87	72,7

Дополнительно был произведен расчёт с помощью аналитического расчётного комплекса SCAD, а также использовался более мощного комплекса ANSYS. При этом геометрические и физические характеристики принимались следующими:

$E_0=10^5$ (Kg/cm²); $E_{90}=4000$ (Kg/cm²); $G=5000$ (Kg/cm²); $\mu_{xy}=0,45$; $\mu_{yx}=0,018$

Общее количество конечных элементов для не армированной арки 159642 КЭ. Поля напряжений в поясах арки приведены на рис.5.

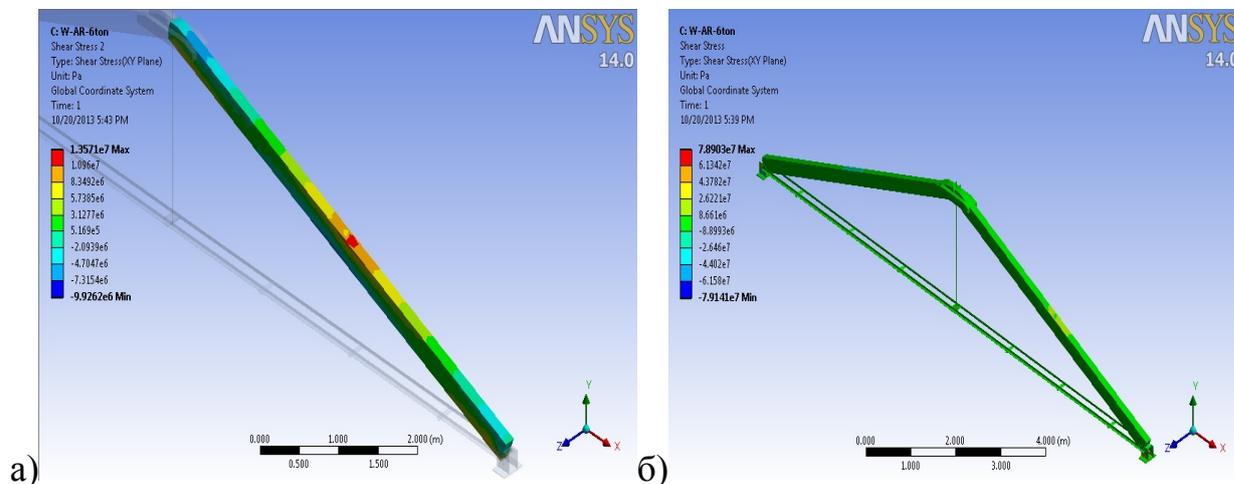


Рис.5.– Поля напряжения в поясе арки: а) σ_x при нагрузке 6 т, б) τ_{xy} при нагрузке 6 т.

По результатам исследований были составлены таблицы по сравнению расчётных теоретических и экспериментальных данных.

Таблица № 2 Результаты статического расчёта арки

№	Размеры			напряжения и деформации при уровнях нагружения					
				3т (30кН)			6 т (60кН)		
	b (мм)	h (мм)	L (мм)	σ_x ₂ (кг/см ²)	τ_{xy} ₂ (кг/см ²)	f (мм)	σ_x ₂ (кг/см ²)	τ_{xy} ₂ (кг/см ²)	f (мм)
Ар-с	140	280	6462	134,2	3,94	18,6	249,2	11,36	79,6
Ар-а	140	280	6462	143,5	5,1	25,8	225,5	10,2	78,6

Примечания: Данные приведены для сечения 2-2 (смотри на рис.2) Здесь: Ар-с Результаты статического расчёта арок, Ар-а Результаты статического расчёта арок на программном комплексе ANSYS.

Данные расчета на комплексе «ANSYS» практически совпадают с результатами экспериментального исследования, как по нормальным, так и по касательным напряжениям (разница в различных сечениях 1,5 ÷ 2,6%).

Выводы:

Натурные испытания треугольной арки с прямолинейными клееными верхними поясами показали до нагрузки (3т), составляющей несколько менее 50% от разрушающей, стабильную и устойчивую работу. Предел длительного сопротивления, как известно, составляет примерно половину от предела прочности. Разрушения конструкций произошло от разрыва нижних волокон верхнего пояса при нагружении в 6,5 т в каждой точке их приложения. Прогобы верхнего пояса арки при нагрузке 3т находились в пределах регламентируемых нормативными документами. Нормальные напряжения, по форме и по значениям отвечали как расчетам по нормам (расхождения $5,2 \div 7,1$ %), так и соответствовали результатам, полученным при использовании расчетно-теоретической программы «ANSYS». При этом эпюры касательных напряжений в опорном узле и вблизи него (сечение 1-1) имеет ассиметричную форму, а в зонах под нагрузкой (сечение 2-2) описывались трехзначной эпюрой. К сожалению, не удалось технически осуществить армирование клееного верхнего пояса.

Проведенные ранее испытания односторонне армированных дощато-клееных балок [9, 10] показали, что даже при пониженном проценте армирования (менее 0,5 %) несущая способность повышалась в среднем на $17 \div 26\%$.

Литература:

1. Robert Jyhvyl; Translator: Ghanbar Ebrahimi - Housing and Building Research - Volume 2 - Edition 1, 1986, 354 p.
2. EN 408. "Timber structures—Structural timber and glued laminated timber—Determination of some physical and mechanical properties." *British Standards Institute* (2003).
3. Gotz K.H., Hoor D., Mohler K., Natterer J. *Holzbau Atlas*. Munchen, 1978, 272 p.

4. Кислый В.В. Деревянные клееные конструкции: информационно-справочное сопровождение [Электронный ресурс] // Строительный эксперт, №9. 2003, Режим доступа: <http://www.proektstroy.ru/publications/view/5271> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус
5. Найчук А.Я., Серов Е.Н., Захаркевич И.Ф. Некоторые особенности расчета клееных деревянных конструкций [Текст] – Там же, Брест, 2009 г. – С. 212-218.
6. Найчук А.Я. Клееная древесина – строительный материал будущего [Электронный ресурс] // Архитектура и строительство» - 2009 г. - №3 (202)., Режим доступа: <http://ais.by/story/1942> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
7. Стяпин Р.А. Унификация изгибаемых клееных деревянных конструкций по принципу подобия [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона» 2013, №2, - Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1608> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
8. Василькин А.А., Рахмонов Э.К. Системотехника оптимального проектирования элементов строительных конструкций [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона» 2013, №4, - Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2203> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
9. Пурызданхах М. Исследование не симметрично армированной балки из клееной древесины натуральных размеров [Текст] // КОМУНАЛЬНЕ ГОС- ПОДАРСТВО МІСТ.Харків: ХНУГХ,2013-Вип.110.С. 39-44
10. Фурсов В.В. Пурызданхах М. Бойко Т.К. Экспериментальное исследование натуральных балок из клееной древесины [Текст] // Науковий вісник будівництва. - Харків: ХНУБА, 2013.- Вип.73. С. 175-179