

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИИ СТЕРЖНЕ-ВАНТОВОЙ АРКИ

И.К. ДМИТРИЕВ, канд. техн. наук, доцент
ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет»,
129337, Москва, Ярославское шоссе, д.26; igkd@rambler.ru

В работе рассказывается о экспериментальных исследованиях по определению несущей способности, а также выявлению наиболее удачной конструкции арки, состоящей из деревянных мелкогабаритных брусков, нанизанных на два стальных троса. При натяжении тросов из зоны опор, гирлянда брусков образовывала стержне-вантовую двухшарнирную арку. Исследованы три разные схемы такой арки, каждая из которых нагружалась сосредоточенной силой в зоне конька. По результатам экспериментов построены графики усилие – деформация. Определена конструкция стержне-вантовой арки, которая по своим несущим способностям сопоставима с клеелесной.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: испытания стержне-вантовой арки, нагрузка в зоне конька, график усилие-деформация, несущая способность арки, клеелесная арка.

В современном строительстве России дерево и изделия из него занимают большое место. Однако, как в деревянном домостроении, так и в деревообработке, в основном, используются большеразмерные элементы. Многие домостроительные комбинаты не знают как использовать отходы - мелкогабаритные деревянные бруски и продают их за символическую плату или просто сжигают. Поэтому вопросы применение таких элементов в реальных строительных конструкциях, а не только в качестве шпона ДСП, ОСБ, и т.д., требующих создания дополнительных производств, являются актуальными.

Впервые в СССР, а потом и России исследованиями в этой области занималась лаборатория бионики под руководством Лебедева Ю.С. Им были созданы экспериментальные сооружения, подтверждающие возможность применения таких элементов в легких сооружениях [8]. В их основе лежал трос, на который были нанизаны подобно бусам небольшие деревянные бруски. Однако, вопросы несущей способности таких сооружений оставались открытыми.

По мнению автора, использовать эти гирлянды вполне реально как в небольших сооружениях – беседках, летних кафе, небольших торговых центрах, и т.д., так и в качестве «деревянной сети» между двумя стальными конструкциями, что и было продемонстрировано в экспериментальном здании рынка в Махачкале. Качество этой постройки вполне подтвердило время – рынок существует уже более 20 лет.

Сначала наши исследования проводились на пространственном модуле, состоящем из двух гирлянд, перекрещивающихся в коньке. Были разработаны опорные узлы, позволяющие поднимать и натягивать арочную гирлянду из зоны опор с использованием домкратов [4,5]. Применялись деревянные, а также резиновые межэлементные шпонки для соединения мелкогабаритных деревянных элементов в единую арку, после чего проводились испытания несущей способности модуля. Однако для исследуемой структуры она оказалась небольшой [6]. Поэтому, прежде всего, требовалось усовершенствовать саму конструкцию гирлянды.

Для новых испытаний была собрана плоская двухшарнирная арка, состоящая из небольших, трапециевидных деревянных элементов, нанизанных на два стальных троса. Вне натяжения, данная арка представляла собой стержне-вантовую гирлянду, свободно провисающую между 2-мя точками закрепления и внешне похожую на бусы. Элементы соединялись друг с другом из плоскости при помощи шпунтового соединения по типу шип-паз. Это способствовало работе арки в этом направлении как единого целого. При натяжении тросов из зоны опор, все деревянные бруски плотно соединялись друг с другом и образовывали 2-х шарнирную арку. Натяжение выполнялось двумя домкратами «Ермак», рассчитанными на усилие до 1т. Для восприятия распора опорные части конструкции соединялись затяжкой в виде 2-х тросов по 4 мм каждый. Их натяжение регулировалось талрепом.

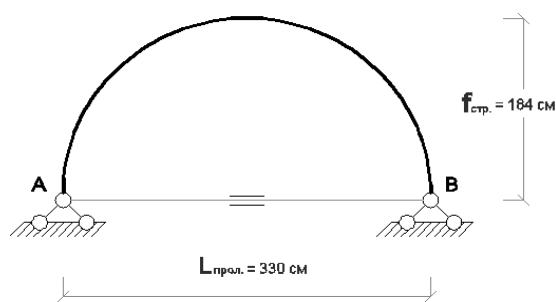


Рис. 1. Расчетная схема арки.

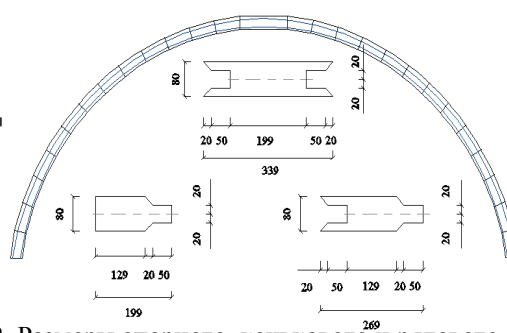


Рис. 2. Размеры опорного, конькового и рядового элементов арки. Диаметры 2-х тросов по 6 мм.

Цель экспериментов состояла в поиске такого усиления арочной гирлянды, которое позволило бы говорить о близости ее несущей способности к клеелесной арке. Определяющим фактором для этого была выбрана деформация конструкции в вертикальной плоскости под действием внешней силы. А также графики усилие-деформация для всех экспериментов. Арка раскреплялась из плоскости в минимальном количестве точек, а именно в

опорных узлах и коньке. Этого вполне хватает для того, чтобы провести сравнение эффективности того или иного решения. Задача потери устойчивости с определением критической силы, подбора количества точек раскрепления из плоскости, и.т.д не ставилась. Эти задачи успешно решаются, например, в программе Лира Сапр 2013, после создания приемлемого конструктивного решения арочной гирлянды с минимальным количеством точек закрепления.

Нагружение арки осуществлялось сосредоточенной силой, приложенной в



Рис. 3. Общий вид арки без усиления

В первом эксперименте вышеописанная двухшарнирная арка исследовалась без усиления. Деревянные бруски прижимались друг к другу благодаря натяжению тросов из зоны опор и гирлянда принимала арочную форму. По результатам испытаний был построен график усилие-деформация ($P - \Delta$), показанный ниже. Этот эксперимент носил предварительный характер и показывает небольшую несущую способность конструкции без усиления.

В качестве определяющей внешней нагрузки было принято усилие в 36.5 кгс. При этом деформация арки при такой нагрузке, составила $\sim 1/50 L$ пролета, что в 4 раза больше нормативной, равной $1/200 L$ пролета [1]. Потеря несущей способности конструкции произошла в результате потери устойчивости из плоскости при усилении около 50 кгс. Как и следовало ожидать, не усиленная арочная гирлянда не может воспринимать существенную внешнюю нагрузку.

Во втором эксперименте эта же арка усиливалась двумя оцинкованными лентами, толщиной $\delta=0.5$ мм, натянутыми по ее верхней грани. Ширина лент составляла 2 см. Ленты крепились одним саморезом к каждому деревянному брусу, проходили под опорными частями арки и прикреплялись к ее третьему элементу изнутри. По результатам испытаний также построен график усилие-деформация ($P - \Delta$).

Потери несущей способности этой арки не произошло даже при нагружении ее усилием в 80 кгс. Примерно до 36.5 кгс график усилие-

Выбор такого нагружения объяснялся прежде всего удобством проведения эксперимента и наиболее соответствует первой схеме распределения снеговой нагрузки по ее поверхности [2]. В качестве нагрузки применялись пакеты, весом по 5 кгс. Загружение выполнялось ступенчато нагрузкой в 10 кгс, двумя пакетами, с интервалами в 5 мин. Результаты прогиба арки в зоне конька фиксировались прогибомером с проволоочной связью Н.Н. Максимова.

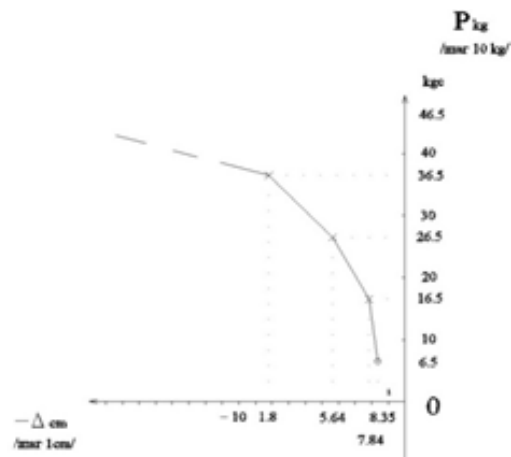


Рис. 4. График усилие-деформация для арки без усиления. При нагрузке 36.5 кгс деформация составила 6.55 см или $1/50 L$ пролета $> 1/150 L$ пролета.

деформация имеет параболический характер и соответствует арке из мелкогазмерных деревянных элементов без усиления, рассмотренной выше. А с 36.5 кгс становится линейным и соответствует уже упругой работе растянутых стальных лент.



Рис. 5. Общий вид арки усиленной лентами

ции» деревянных элементов и полному усиленная арочная гирлянда удовлетворяет условию II предельного состояния в соответствии с [1].

В третьем эксперименте, после снятия стальных лент, все деревянные бруски рассмотренной выше арки склеивались эпоксидной смолой с отвердителем, для получения уже цельносклеенной арки. Проклейка проводилась по боковой поверхности каждого шипа и внутри паза всех деревянных элементов. После чего, в короткое время до схватывания клея, проводилось натяжение тросов с выведением конструкции в рабочее вертикальное положение. Загружение арки велось только после 24 часов после нанесения клея - времени его полного отверждения, в соответствии с инструкцией.

При усилии 36.5 кгс деформация этой арки составила примерно 1.74 см, и приближается к величине $1/200 L$ пролета. Это меньше величины $1/300 L_{\text{прол.}}$ - предельного прогиба клееных конструкций. Однако учитывая зоны непроклейки, а также то, что арку необходимо было поднять в рабочее положение в течении короткого времени, до застывания клея, можно ориентироваться на величину в $1/200 L$ пролета, также, как это допускается в клееных балках со строительным подъемом. [1] Таким образом можно считать, что арка удовлетворяет условию II пред. состояния – ее деформация не превышает нормативную. К сожалению, не удалось довести нагрузку до 73 кгс. При усилии около 45 кгс произошло разруше-



Рис. 7. Испытание арки, проклеенной эпоксидной смолой

деформация уже упругой работе растянутых стальных лент. Деформация арки на участке от 0 до 36.5 кгс больше нормативной, равной $1/200 L$ пролета, примерно в 2 раза. А на участке от 36.5 кгс до 73 кгс, те при увеличении внешнего усилия еще на 36.5 кгс, деформация уменьшается и уже соответствует величине $1/200 L$ пролета. Это вполне отвечает требованиям, предъявляемым к деформации несущих конструкций. Таким образом, после окончания «рыхлой деформации» деревянных элементов и полному вступлению в работу стальных лент,

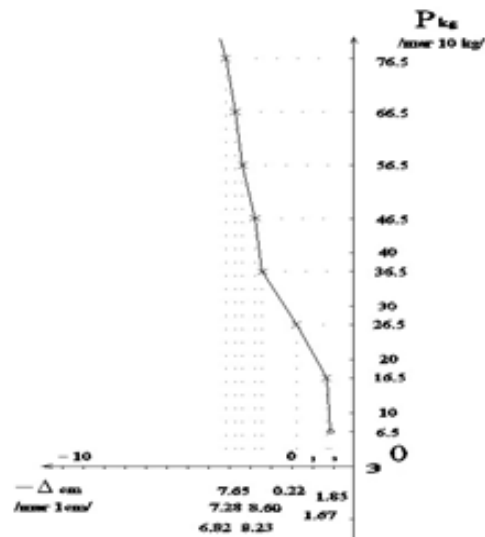


Рис. 6. График усилие-деформация для арки усиленной лентами

ние арки в результате продольного скалывания одного из деревянных брусков. По результатам испытаний был построен график усилие-деформация ($P - \Delta$), характер которого близок к графику, построенному во втором эксперименте, на участке от 36.5 до 73 кгс внешнего нагружения.

По результатам испытаний можно сделать вывод о том, что несущая способность не усиленной стержне-вантовой арки не отвечает условиям II предельного состояния и обладает повышенной деформативностью. Лишь арки усиленные металлическими лентами по верхней грани, по своим несущим способностям, практически не уступают клееным и удовлетворяют условиям II предельного состояния. Вместо лент можно использовать и другой металлический профиль или шпренгель. Усиление конструкции по верхней грани переводит ее уже в шпренгельную систему. И работа таких арок под нагрузкой близка к работе шпренгельных балок и ферм. Также как и несущая способность, рассмотренной во 2-ом эксперименте шпренгельной арки, будет примерно соответствовать несущей способности шпренгельных конструкций, а их аналитический расчет вполне возможно провести в любой компьютерной программе, например в Лира Сапр, 2013г.

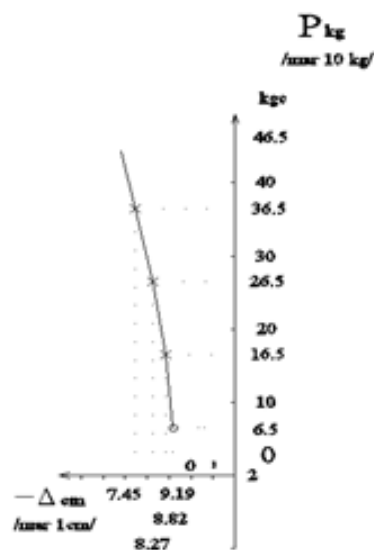


Рис. 8. График усилие-деформация

по верхней грани переводит ее уже в шпренгельную систему. И работа таких арок под нагрузкой близка к работе шпренгельных балок и ферм. Также как и несущая способность, рассмотренной во 2-ом эксперименте шпренгельной арки, будет примерно соответствовать несущей способности шпренгельных конструкций, а их аналитический расчет вполне возможно провести в любой компьютерной программе, например в Лира Сапр, 2013г.

Л и т е р а т у р а

1. СП64.13330.2011. Деревянные конструкции. Актуализирован. редакция СНиП II-25-80, Москва, 2011.
2. СП20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализирован. редакция СНиП 2.01.07-85, Москва, 2011.
3. Дмитриев И.К., Исследование работы стержне-вантовой гирлянды// Промышленное и гражданское строительство. 2010. – №11. – С. 68-70.
4. Дмитриев И.К., Петухова К.Г., К вопросу возведения экспериментального большепролетного стержне-вантового купола// Промышленное и гражданское строительство. – 2012. – №12. С. 18-19.
5. Дмитриев И.К. Результаты исследования несущей способности стержне-вантовой гирлянды и формы оболочек на ее основе // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – №9. – С. 4-6.
6. Дмитриев И.К. Экспериментальное исследование арочной гирлянды// Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – №10. – С.58-61.
7. Бойтемиров Ф.А. Конструкции из дерева и пластмасс. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 288 с.
8. Лебедев Ю.С., Темнов В.Г. Пространственные конструктивные системы бионического типа (Опыт применения в строительстве). – Л.: ЛДНТП, 1980. – 26 с.
9. Winfried Nerdinger., Frei Otto. Complete works. Lightweight construction// Natural design. – Birkhauser, Architekturmuseum, TU Munchen, May 2005. – 396 p.
10. Martin Bechthold. Innovative surface structures technologies and applications. – Taylor & Francis, March 20 2008. – 231 p.

References

1. SP64.13330.2011. Timber constructions. Updated redaction of SNiP II-25-80., Moscow, 2011.
2. SP20.13330.2011. Loads and actions. Updated redaction of SNiP 2.01.07-85., Moscow, 2011.
3. Dmitriev, I.K. (2010). Research of the work of the wooden-metal arch garland, *Promyshlennoe i Grazhdanskoe Stroitelstvo*, no 11, pp. 68-70
4. Dmitriev, I.K., Petuhova, K.G. (2012). On questions of experimental erection of the large span brick- cable shell, *Promyshlennoe i Grazhdanskoe Stroitelstvo*, no 12, pp. 18-19.
5. Dmitriev, I.K. (2013). The research results of the carrying capacity the brick-cable garland and shell forms at its base. *Promyshlennoe i Grazhdanskoe Stroitelstvo*, no 9, pp. 4-6.

6. Dmitriev, I.K. (2014). The experimental research of arch garland. *Promyshlennoe i Grazhdanskoe Stroitelstvo*, no 10, pp. 58-61.
7. Boytemirov, F.A. (2013). *Timber and Plastic Constructions*. M.: "Academy", 288 p.
8. Lebedev, Ju.S., Temnov, V.G. (1980). *Space Structural Bionic Type Systems (Experience in construction use)*, L.: LDNTP, 26 p.
9. Winfried Nerdinger, Frei Otto (2005). *Complete works. Lightweight construction. Natural design*. Birkhauser, Architekturmuseum, TU Munchen, 396 p
10. Martin Bechthold (2008). *Innovative surface structures technologies and applications*. Taylor & Francis, 231 p.

RESEARCH OF THE DEFORMATION OF THE BRICK-CABLE ARCH

IGOR K. DMITRIEV

Moscow State Building University, Moscow

The article tells about the experimental researches for determination the carrying capacity and identification the most successful arch construction, consisted from small timber bricks, strung together on two steel cables. While pulling cables from the mainstay area, the bricks garland transformed to double joint brick-cable arch. Three different constructive schemes of this arch were tested and each of them was loaded by the concentrated force at its top region. Graphics force-deformation were plotted as the results of the tests. It was determined such construction of the brick-cable arch, as was comparable to the glued laminated timber arch by its carrying capacity.

KEY WORDS: tests of the brick-cable arch, load the top region of the arch, graphic force-deformation, carrying capacity of the arch, glued laminated timber arch.

