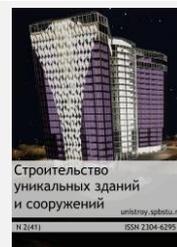




## Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: [www.unistroy.spb.ru](http://www.unistroy.spb.ru)



### Арочная многофункциональная модульная конструкция

**М.А. Андреев<sup>1</sup>**

*Индивидуальный предприниматель Хижнякова А.В., 414000, Россия г.Астрахань, ул.2-я Загородная/ул.Тихвинская, 64/11.*

#### Информация о статье

УДК 69.07

#### История

Подана в редакцию 1 декабря 2015

#### Ключевые слова

Арочная многофункциональная модульная конструкция; модули; большепролетная конструкция; новая конструкция; инженерная мысль; малая металлоёмкость; быстрая сборка; одинаковые малоразмерные модули; унифицированные типоразмеры; двоякоизогнутая конструкция;

#### АННОТАЦИЯ

В настоящей статье предлагается ознакомиться с полезной моделью «Арочная многофункциональная модульная конструкция» (АММК). Конструкция предназначена для перекрытия различных пролётов, в том числе и больших, которые по классическим схемам строить намного дороже, чем используя АММК. Многофункциональность конструкции предполагает использование её не только в строительстве несущих арок зданий. Она будет эффективна при возведении надземных пешеходных переходов, мостов, резервуаров, конструкций радиотелескопов. Кроме того, АММК может быть изогнутой как в одной плоскости, так и двоякоизогнутой, а также возможно изменение высоты подъёма арки в уже установленной конструкции. Главные преимущества этой конструкции перед классическими арками и фермами – малая металлоёмкость, которая снижается пропорционально увеличению пролёта и большая заводская готовность перед сборкой на строительной площадке, поскольку АММК состоит из одинаковых малоразмерных модулей, что позволяет быстро собрать конструкцию и так же легко доставить большепролётную конструкцию без применения специальной техники.

#### Содержание

1.	Введение	92
2.	Постановка задачи	92
3.	Описание исследования	92
4.	Схемы	95
5.	Варианты соединения модулей	100
6.	Заключение	102

Контактный автор:

1. +7(964)8811414, [Andreevast@rambler.ru](mailto:Andreevast@rambler.ru) (Андреев Михаил Анатольевич, технический директор)

## 1. Введение

В настоящее время в современном строительстве имеется тенденция к увеличению объёмов строящихся сооружений. Здания увеличиваются в высоту, растут площади застройки. При увеличении площади сооружений для их покрытия используются в основном давно известные строительные конструкции: фермы, арки, рамы. Но использование классических схем в большепролетных конструкциях ведёт к очень большому расходу металла и это, естественно, ограничивает величину пролётов. В книге американского конструктора и преподавателя из Архитектурной школы при университете Миннесоты Хайно Энгеля «Несущие системы» [1] есть схемы практически всех несущих систем, которые используются по настоящее время. В данной статье описывается ещё одна несущая система «Арочная многофункциональная модульная конструкция» (АММК). Применение этой конструкции поможет увеличить пролёт и уменьшить расход металла.

При проектировании перекрытия архитектор всегда сталкивается с выбором инженерной схемы строительной конструкции [1,2], которая будет служить основой конструкции покрытия. Техническое задание может не всегда точно определить, какую схему необходимо воплотить в проекте, и тогда решение должен принять автор проекта, а ориентироваться он будет на ранее разработанные, испытанные временем конструкции [3]. Но при постановке задачи, когда необходимо подходить к решению нестандартными методами, необходимо изобретать новые конструкции, делать новые открытия или решать задачи по совершенствованию уже известных [4-7] Тем более необходимо обращать внимание на первоисточник всех созданных конструкций – природу, где каждый элемент какой-либо структуры имеет своё предназначение. Всё может быть уже давно придумано, надо только это увидеть [8,9].

## 2. Постановка задачи

В связи с быстрым развитием строительной индустрии, применением новых строительных материалов, увеличением габаритов новых сооружений (спортивные комплексы, стадионы, выставочные комплексы, промышленные здания и т.д.) необходимо и совершенствование, и проектирование новых строительных конструкций, влияющих не только на целесообразность конструктивных решений, но и на архитектурную привлекательность возводимых сооружений [10-13]. Но одним из главных вопросов при проектировании большепролетных зданий всегда остается экономическая эффективность применяемых конструкций и конструктивных схем [14]. Арочная многофункциональная модульная конструкция [2] как раз позволяет решить многие из этих задач, так как применима не только для строительства большепролетных покрытий, но и является универсальным решением большого круга задач. Её использование возможно в качестве несущей конструкции и декоративного заполнения, для решения архитектурной композиции, в конструкциях, где применима гибкая конфигурация, похожая на арку. Так же возможно создание атриумов, пешеходных переходов, мостов, больших залов, покрытие которых из прозрачного материала для использования дневного света [15].

Американский архитектор Луис Салливен писал, что «каждая проблема содержит её собственное решение, и задача заключается в точном понимании характера проблемы», «...всюду и всегда форма следует за функцией». Л. Салливен лаконично связал между собой две основные категории архитектуры – форму и содержание (функцию), ответив на вопрос сочетания красоты и пользы, эстетики и этики [16]. Если творческий подход и инженерная мысль неразрывно связаны, то осмыслив эти советы, решение задачи обязательно будет [17].

## 3. Описание исследования

В данной статье рассматривается арочная многофункциональная модульная конструкция (АММК), состоящая из небольших модулей, соединённых между собой шарнирно посредством двух поясов тросов, которые сверху и снизу пронизывают модули. Данная конструкция решает вопросы по снижению металлоёмкости, увеличению пролёта перекрытий, унификации конструкции, универсальному применению конструкции во многих сооружениях, упрощению процесса возведения и транспортировки изделий на место строительства.

Арочные конструкции известны с давних времен [18], когда строились мосты в замках, купола в храмах [14]. Они строились из каменных блоков, которые как раз и являются модулями, как и в нашем случае. И принцип работы арочной многофункциональной модульной конструкции аналогичен работе арочной перемычки, сделанной из кирпича [20-22].

В АММК автор решает задачу увеличения пролёта конструкции с одновременным снижением веса и унификацией модулей для снижения стоимости изготовления конструкции [22].

Для увеличения пролёта конструкции необходимо определить схему, при которой эта конструкция могла бы не потерять устойчивости при увеличении нагрузки и при этом снизить расход металла, несмотря на увеличение пролёта. Из этого следует, что наибольшую нагрузку может выдержать арка, поскольку её элементы работают на сжатие [23] (рисунок 1).

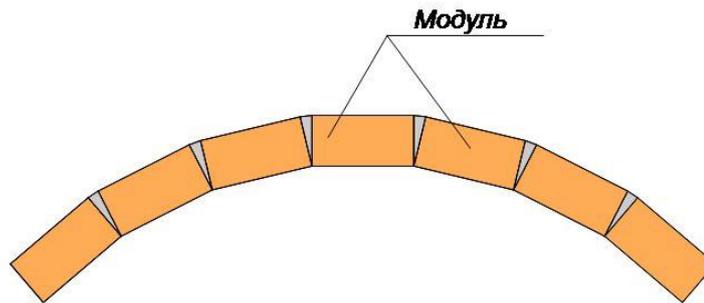


Рисунок 1. Схема арки из блоков-кирпичей

Если для примера взять длинный стержень высотой ( $h$ ), соответствующий длине дуги некоторой арки и стержень такой же длины, равной ( $h$ ), но разделённый на некоторое количество ( $n$ ) модулей, закрепить длинный стержень и модуль в вертикальном положении. Затем, приложить к ним вертикальную нагрузку. Длинный стержень намного быстрее потеряет свою устойчивость, чем короткий [24]. На этом примере можно убедиться, что чем короче модуль конструкции, тем большую нагрузку он может нести и, соответственно, это способствует снижению металлоемкости конструкции при увеличении её пролёта.

Принимая за основу обыкновенную каменную арку, состоящую из одинаковых блоков (в данном случае – модули), для удовлетворения условия построения необходимой схемы конструкции, добавляем к ней затяжки – тросы, которые воспримут распор в каменной арке [2,23](рисунок 2). Работа этих тросов будет аналогична работе «несущих» и «стабилизирующих» механизмов в вантовых несущих конструкциях [1].

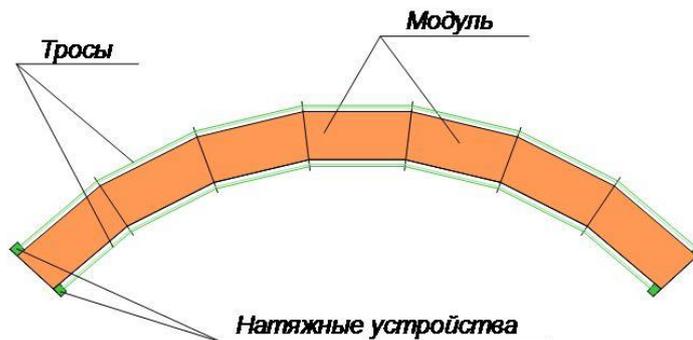


Рисунок 2. Схема АММК с несущими тросами

Следующим этапом построения арочной модульной конструкции – шарнирное соединение модулей друг с другом, поскольку без этого соединения арка будет только набором некоторых элементов, не способных обеспечить работу арочной конструкции [2] (рисунок 3).

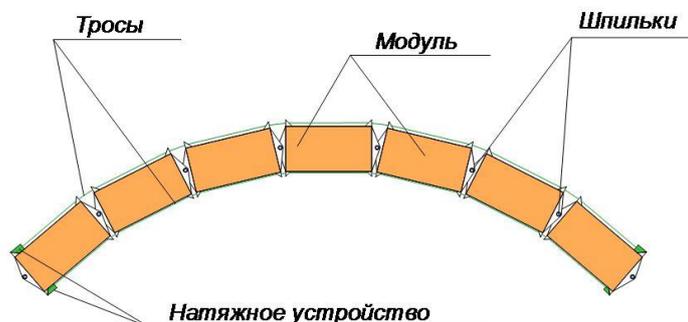


Рисунок 3. Схема АММК – для соединения модулей установлены шпильки

Однако, разделив арку на множество модулей, шарнирно скреплённых друг с другом, совершенно не решается другой вопрос – общая устойчивость всей конструкции. Необходимо придать модулям свойства классической арки. Для этой цели добавляются элементы, удерживающие модули в состоянии, при котором они

все вместе будут работать как единая арка. Каждый модуль закрепляется на тросы (используются внутренние и внешние тросы), на которые нанизываются модули конструкции (длина внутреннего троса меньше длины внешнего троса для придания высоты подъёма арки), после чего тросы натягивают. Обычное натяжение не приведёт к созданию устойчивой арочной конструкции, поскольку после натяжения тросов конструкция не будет иметь чёткого арочного очертания и не сможет выдержать приложенной к ней вертикальной и боковой нагрузки.

Необходимо применить ещё один элемент, который не позволит после натяжения тросов отклоняться модулям друг от друга. Это угловой фиксатор, который регулирует угловое отклонение модулей относительно друг друга и работает в качестве клина. После установки угловых фиксаторов и натяжения тросов, арочная конструкция примет стабильно устойчивое положение и будет способна воспринимать вертикальные нагрузки. Вертикальная нагрузка, приложенная к АММК в шарнирных соединениях модулей, действует вдоль оси арочной конструкции и оси модуля. Поскольку растягивающие усилия в АММК воспринимаются тросами, закреплёнными на модулях вдоль верхней и нижней поверхности АММК, собранную из модулей, то распор в такой конструкции будет равен 0 (рисунок 4).

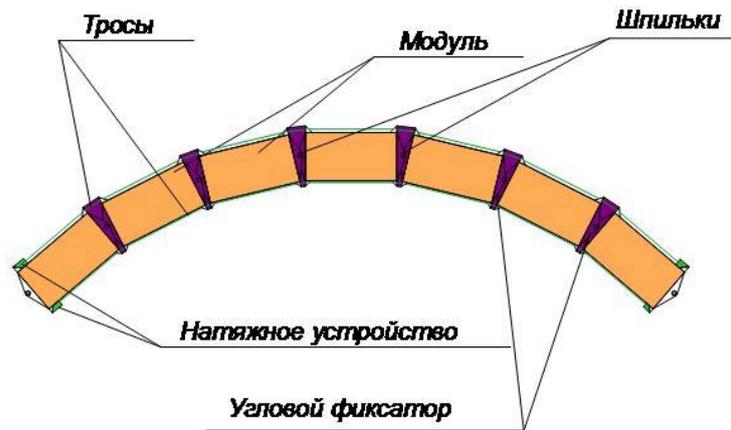


Рисунок 4. Схема обеспечения устойчивости АММК с использованием угловых фиксаторов

Для сокращения времени на изготовления модулей, необходимо определить сортамент металлических изделий, из которых будут изготовлены элементы модуля. В данном исследовании для изготовления сжатых элементов предлагается использовать профильную трубу, поскольку с ней удобнее производить сварочные работы и, кроме того, она подходит для производства унифицированных изделий [25] (рисунок 5).

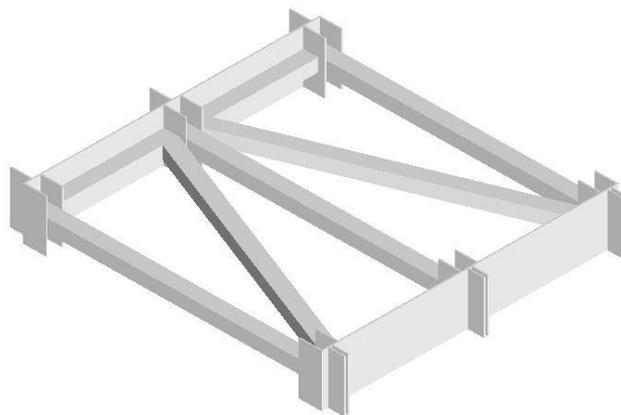


Рисунок 5. Пример конструктивной схемы модуля АММК

В данной конструкции растяжение воспринимают тросы, работающие с наибольшей эффективностью. Так же они используются в качестве затяжки [23], обеспечивающей отсутствие распора в конструкции. В случае с аркой, выступающей в роли несущей конструкции, тросы, проходящие в нижнем и верхнем поясе арки и имеющие длину, определённую расчётом, сжимают модули конструкции, что даёт возможность сформировать арочную конструкцию, поскольку длина верхних и нижних тросов различается. Причём количество тросов в верхнем и нижнем поясе должно быть не менее трёх в каждом для исключения любого возможного источника ошибок [26]. Кроме того, такое количество позволит без лишних затруднений, в случае необходимости, произвести замену одного из них.

Применение модульной системы обеспечивает снижение металлоёмкости конструкции, позволяет увеличить пролёт сооружения и доставку конструкции практически куда угодно из-за небольших размеров модулей.

Даже приближенно сравнивая два варианта перекрытия сооружения пролетом 120 м с использованием программы SCAD Office 11.5 Кристалл, получим результат экономии металла ориентировочно в 4,5 раза.

Для сравнительного анализа расхода металлоконструкций взяты ферма с параллельными поясами и арочная многофункциональная модульная конструкция с одинаковыми пролетами и изготовленными из профильных стальных труб.

1 вариант: ферма с параллельными поясами для сооружения высотой 34 м, пролетом 120 м с шагом колонн 12 м с равномерно распределенной нагрузкой на ферму  $g=1,5$  т/м. Получим вес конструкции 52,5 т.

2 вариант: арочная многофункциональная модульная конструкция для сооружения высотой 34 м, пролетом 120 м с шагом арок 12 м с равномерно распределённой нагрузкой на АММК  $g=1,5$  т/м (длина дуги арки 150 м, высота арки 34 м). Получим вес конструкции 11,3 т.

Конечно, в обоих вариантах приближённого расчёта не учитывается вес различных косынок, опорных планок, шарнирных конструкций, вес тросов и т.д., но в первом варианте, кроме того, не учтён вес колонн, который будет значительным.

В данном случае решается задача придания арочной конструкции устойчивого положения при создании конструкции с увеличенным пролётом, изменяемой высотой подъёма арки.

Предлагается использование шарнирного соединения шпилек и угловых фиксаторов, представляющих из себя две наклонные плоскости, соединённые между собой под определённым углом. Изменяя угол между бёдрами трапеции (угловой фиксатор), изменяется радиус кривизны арки. Таким образом, используя угловые фиксаторы с различными углами наклона бёдер трапеции плоскостей, можно получить конструкции с самыми необычными очертаниями. Использование угловых фиксаторов, различно ориентированных относительно оси конструкции, позволяет придать конструкции одновременно выгнутость и вогнутость оси, при этом сохраняя её геометрическую целостность. В такой схеме арочной конструкции помимо увеличения нагрузок, снижения массы конструкции, увеличения пролёта арки, отсутствия распора, решается вопрос о переносе к нижней поверхности арки горизонтальной затяжки, которая всегда отрицательно сказывается на использовании арочных конструкций в хозяйственных целях. Также при отсутствии распора нет необходимости в строительстве массивных фундаментов в большепролетных сооружениях. Простейший расчёт и максимальная эффективность – главные качества этой конструкции. Так же к достоинствам АММК можно отнести упрощённую доставку конструкции на место строительства, так как в разобранном состоянии модули имеют небольшие размеры (чем короче длина модуля, тем большую нагрузку он способен выдержать). Применение АММК очень широко: от изготовления ангаров с различным пролётом, мостов, переходов до создания резервуаров, трамплинов и мн. другое. АММК представляет собой сейсмоустойчивую конструкцию с диссипативными свойствами в виде напряжённой системы тросов, и в случае землетрясения остаточные смещения конструкции в последующем устранятся [27].

## 4. Схемы

Основным конструктивом многофункциональной модульной конструкции (АММК) является арка, состоящая из отдельных унифицированных модулей, шарнирно соединённых между собой посредством натяжения в уровне верхнего и нижнего поясов тросов, что приводит к сплачиванию модулей и образованию единой конструкции. Для снятия горизонтальных силовых составляющих, возникающих вследствие приложения постоянных и временных нагрузок на несущую плоскость конструкции, а также снятия температурного напряжения, одна из опор конструкции крепится шарнирно к фундаменту, а вторая противоположная опора устанавливается на подвижную платформу, обеспечивая подвижность конструкции в горизонтальном направлении в плоскости арки (рисунок 6).

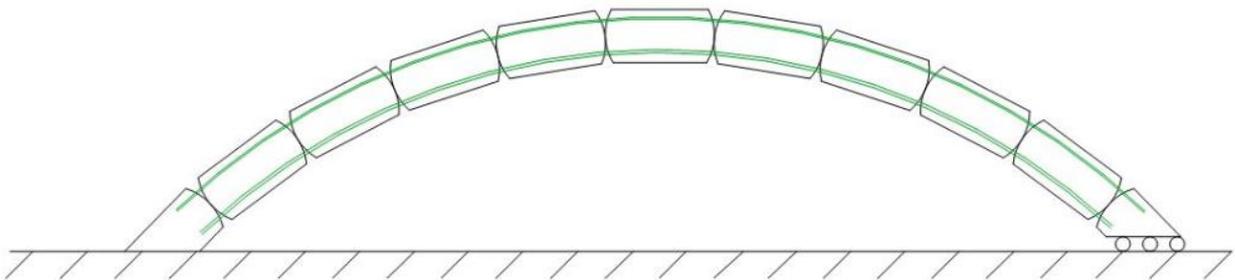


Рисунок 6. Схема арочной многофункциональной модульной конструкции

Для обеспечения устойчивого равновесия и придания жёсткости круглой арочной конструкции кроме тросов нижнего и верхнего поясов тросов установлены в шарниры сопряжения модулей соединительные шпильки и угловые фиксаторы. Шпильки обеспечивают подвижность шарнирных соединений модулей в зависимости от проектной длины оси арки, а угловые фиксаторы создают заданную проектом стрелу подъёма арочной конструкции. Если рассмотреть конструкцию арочной кирпичной перемычки, то можно заметить, что в данном случае модуль выполняет роль кирпича в перемычке, а угловой фиксатор, соответственно – раствор, который скрепляет между собой кирпичи. По условиям работы конструкции он должен быть твёрдым, чтобы обеспечить жёсткость и неподвижность арки. Тросы верхнего и нижнего поясов АММК должны находиться в напряжённом состоянии для уравнивания усилий, возникающих от действия распора арки (рисунок 7).

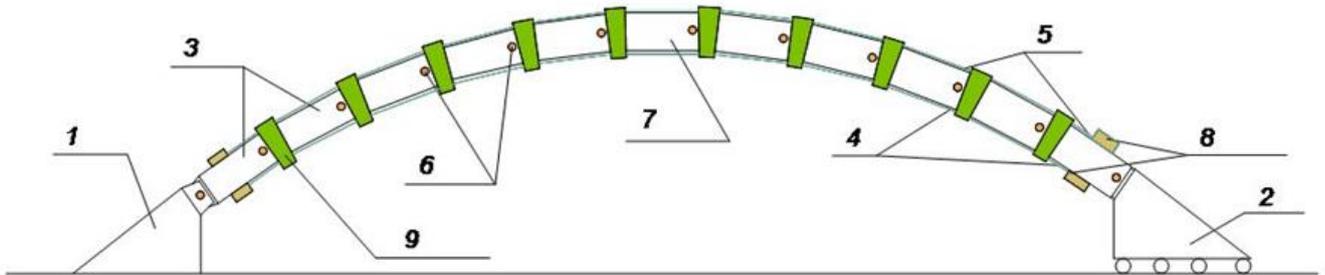


Рисунок 7. Угловой фиксатор установлен в конструкции модуля АММК:

1 – неподвижный опорный модуль, 2 – подвижный опорный модуль, 3 – рядовой модуль, 4 – тросы нижнего пояса, 5 – тросы верхнего пояса, 6 – шпильки, 7 – центральный модуль, 8 – натяжные механизмы, 9 – угловой фиксатор

Параболическая арочная конструкция является разновидностью криволинейной (сегментной) арки и выполняет те же функции с тем отличием, что в параболической арке, в отличие от пологой круглой арки, распор может быть меньше при одинаковом пролете и одинаковых нагрузках. В данном случае замковый фиксатор установлен в том же месте, что и соединительная шпилька, но это является только разновидностью способов соединения модулей конструкции, создающей альтернативу применения того или иного способа соединения (рисунок 8).

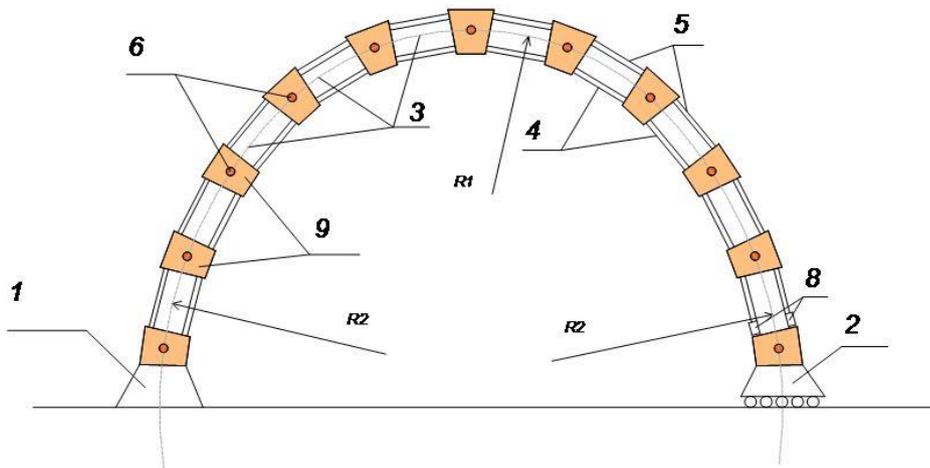


Рисунок 8. Место установки углового фиксатора и соединительной шпильки в АММК совмещены:

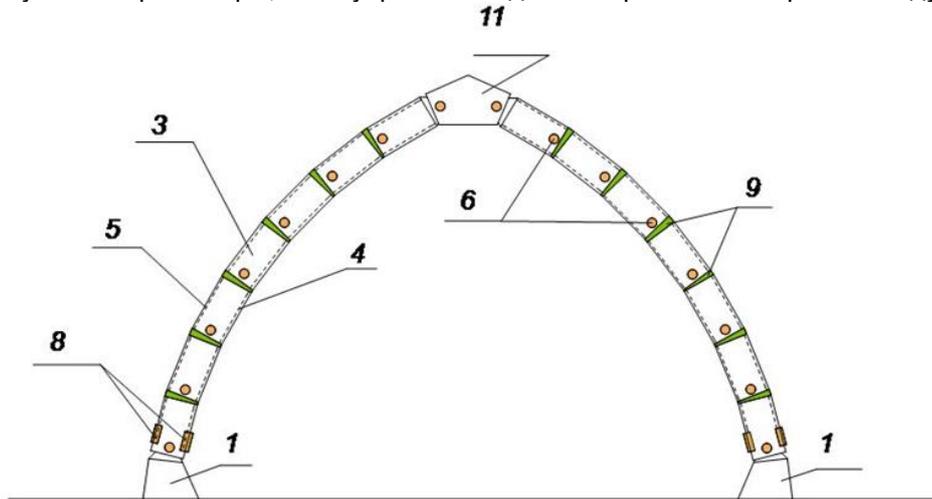
1 – неподвижный опорный модуль, 2 – подвижный опорный модуль, 3 – рядовой модуль, 4 – тросы нижнего пояса, 5 – тросы верхнего пояса, 6 – шпильки, 8 – натяжные механизмы, 9 – угловой фиксатор

Стрельчатая арка позволяет создать конструкцию из двух отдельных криволинейных арочных модульных составляющих. В этом случае в месте сопряжения арочных модулей ставится соединительный замковый модуль. Сопряжение арок можно выполнить двумя способами.

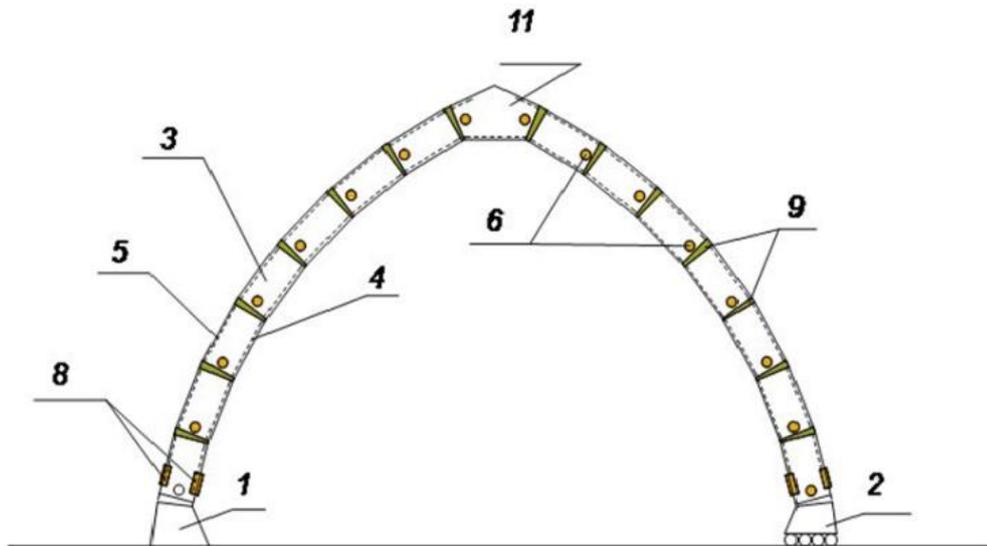
На рисунке 9 арочные конструкции соединяются в наивысшей точке замковым модулем шарнирно без участия угловых фиксаторов слева и справа, тогда в данном случае тросы верхнего и нижнего поясов не соединены с замковым модулем и имеют разрыв в верхней точке. Здесь замковый модуль работает подобно опорному неподвижному шарниру. При этом опорные модули с обеих сторон арки будут опираться на неподвижные фундаменты, поскольку шарнирное соединение с замковым модулем будет снимать напряжения от временных нагрузок или температурных воздействий. Тросы верхнего и нижнего поясов не соединены с

неподвижными опорными модулями, и в узлах соединения полуарок с опорными и замковым модулями отсутствуют угловые фиксаторы.

На рисунке 10 арочные конструкции соединяются замковым модулем посредством шпилек и угловых фиксаторов. При этом получается арочная конструкция, подобная круглой или параболической арке. В данном случае соблюдаются те же особенности, поскольку в этом варианте шарнирное крепление к фундаменту применяется в одном из опорных модулей, а второй модуль, как и в двух первых случаях (схемы 2,3), опирается на плоскость, имея свободу перемещения горизонтально в плоскости арки. В соединениях полуарок с опорными модулями отсутствуют угловые фиксаторы, а полуарки не соединены тросами с опорными модулями.



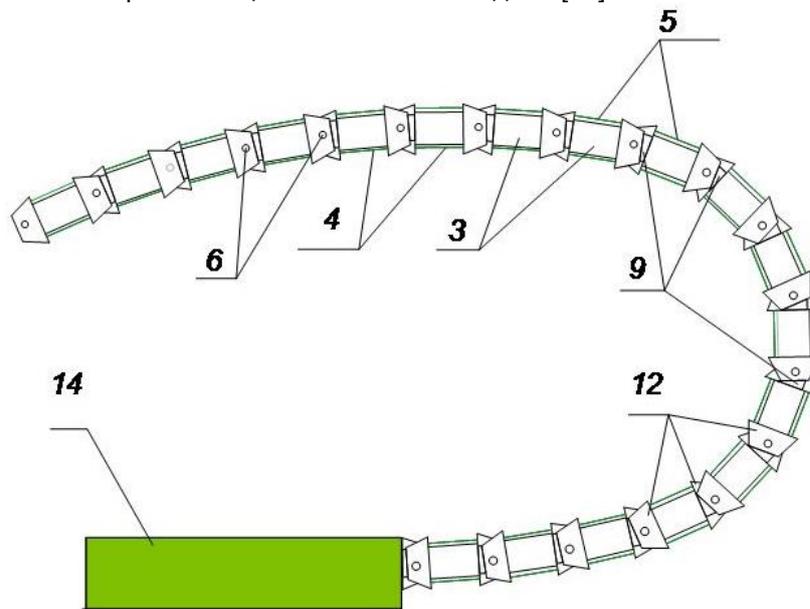
**Рисунок 9. Стрельчатая арка с двумя неподвижными опорными модулями:**  
 1 – неподвижный опорный модуль, 3 – рядовой модуль, 4 – тросы нижнего пояса, 5 – тросы верхнего пояса, 6 – шпильки, 8 – натяжные механизмы, 9 – угловой фиксатор, 11 – замковый модуль



**Рисунок 10. Несущие тросы соединяют две дуги стрельчатой арки:**  
 1 – неподвижный опорный модуль, 2 – подвижный опорный модуль, 3 – рядовой модуль, 4 – тросы нижнего пояса, 5 – тросы верхнего пояса, 6 – шпильки, 8 – натяжные механизмы, 9 – угловой фиксатор, 11 – замковый модуль

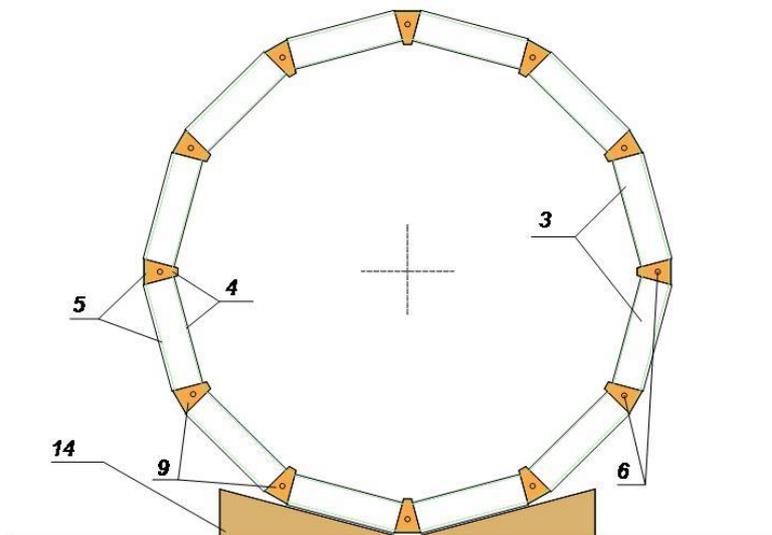
Так как применение арочных конструкций настолько широко, насколько велика фантазия изобретателя, то в этой схеме арочная конструкция не имеет классического опирания на опорные модули. В данном случае конструкция лежит «на боку» (рисунок 11). Арочная конструкция опирается на одну из своих сторон, при желании можно замкнуть линию дуги и получить круговую или овальную конструкцию. При такой схеме опирания в отличие от предыдущих схем основную несущую нагрузку несут тросы верхнего пояса, удерживающие конструкцию в равновесии. Вес висячей части арки должен быть достаточным для создания натяжения тросов, при котором такая конструкция арки будет устойчивой для выполнения определённого проектного задания. Нижние концы тросов верхнего и нижнего поясов должны крепиться к фундаменту или непосредственно закреплены в теле

фундамента, вес которого будет достаточным для создания устойчивого равновесия конструкции. В качестве примера можно ознакомиться со сворачивающимся мостом в Лондоне [28].



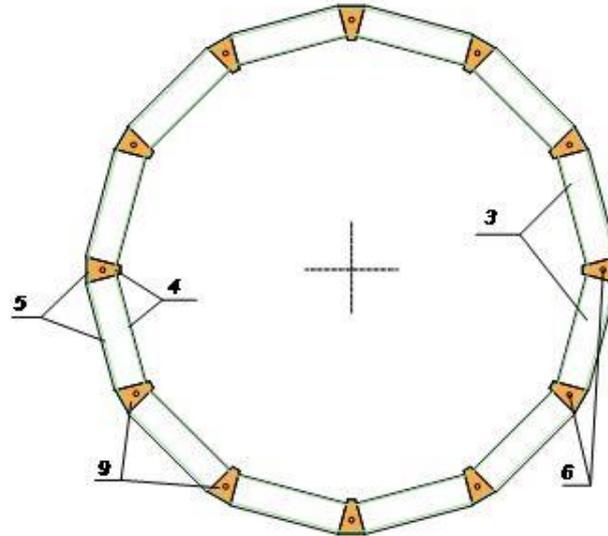
**Рисунок 11. Одностороннее опирание конструкции:**  
3 – рядовой модуль, 4 – тросы нижнего пояса, 5 – тросы верхнего пояса, 6 – шпильки, 9 – угловой фиксатор, 12 – опорная часть модуля из листового металла, 14 – фундамент

Замкнутая арочная конструкция предоставляет возможность создать большие цилиндрические сооружения, опёртые одной стороной на поверхность или создавать конструкции, подобные колесу обозрения [29](рисунок 12).



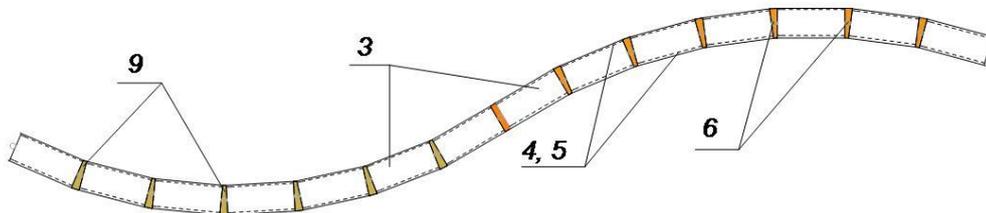
**Рисунок 12. Цилиндр:**  
3 – рядовой модуль, 4 – тросы нижнего пояса, 5 – тросы верхнего пояса, 6 – шпильки, 9 – угловой фиксатор, 14 – фундамент

Такая же схема арочной конструкции с замкнутым очертанием позволит создать большие резервуары. Причем в таком резервуаре нет необходимости делать дополнительные конструкции связей жёсткости. В такой конструкции функции связей и затяжек будут выполнять внешние и внутренние пояса тросов в совокупности с угловыми фиксаторами (рисунок 13).



**Рисунок 13. Замкнутая конструкция:**  
3 – рядовой модуль, 4 – тросы нижнего пояса, 5 – тросы верхнего пояса, 6 – шпильки, 9 – угловой фиксатор

Арочная конструкция, имеющая одновременно выпуклые и вогнутые плоскости, приобретёт такой вид всего лишь изменением направления установленных угловых фиксаторов. Жёсткость конструкции также будет обеспечена натяжением поясов тросов в обеих поверхностях конструкции. В этом случае пояса тросов будут нести одинаковую нагрузку (рисунок 14).



**Рисунок 14. Изменение направления изгиба конструкции:**  
3 – рядовой модуль, 4 – тросы нижнего пояса, 5 – тросы верхнего пояса, 6 – шпильки, 9 – угловой фиксатор

Арочная модульная конструкция является вогнутой, поскольку опирание выполнено на середину арки на центральный модуль. Центральный модуль может иметь различную форму. Но при применении многоугольной формы центрального модуля можно создать форму перевёрнутой сферы, что позволит использовать данную конструкцию для создания больших радиотелескопов. Для изменения радиуса кривизны конструкции, достаточно установить угловой фиксатор, состоящий из двух самостоятельных частей. Это позволит заменять эти «половинки» отдельно одну от другой при натяжении или ослаблении верхних или нижних тросов, не разбирая полностью конструкцию (рисунок 15).

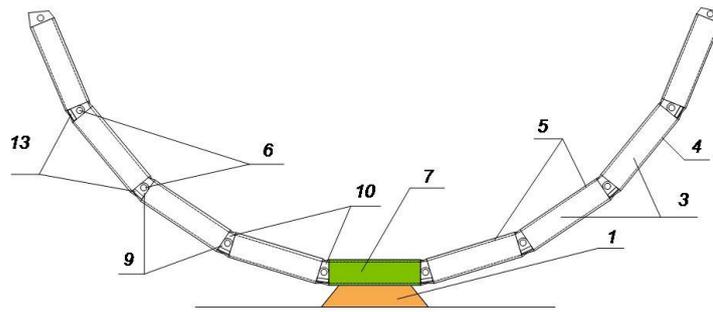


Рисунок 15. Опираение на центральный модуль:  
14 – фундамент, 3 – рядовой модуль, 4 – тросы нижнего пояса, 5 – тросы верхнего пояса, 6 – шпильки, 7 – центральный модуль, 9 – нижний угловой фиксатор, 10 – верхний угловой фиксатор, 13 – домкрат

## 5. Варианты соединения модулей

Рассмотрим различные варианты соединения модулей.

На рисунке 16 представлено соединение модулей в АММК, в котором оси шпильки и углового фиксатора совпадают, позволяет не делать дополнительных элементов для крепления углового фиксатора в соединительном узле, так как в этом случае, фиксатор крепится на удлинённой шпильке, что обеспечивает его устойчивое положение.

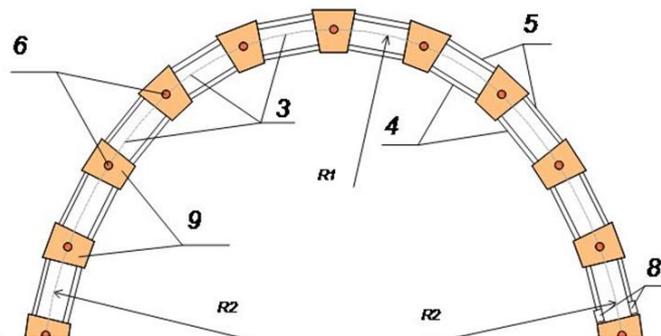


Рисунок 16. Соединение модулей:  
3 – рядовой модуль, 4 – тросы нижнего пояса, 5 – тросы верхнего пояса, 6 – шпильки, 8 – натяжные механизмы, 9 – угловой фиксатор

Вариант, в котором угловой фиксатор разделён на две самостоятельные части с одинаковым углом поворота боковых плоскостей, представлен на рисунке 17. Он позволяет произвести замену угловых фиксаторов, не разбирая конструкцию полностью, а лишь ослабляя или натягивая тросы верхнего и нижнего поясов. В этом случае получим конструкцию с возможностью изменения высоты подъема арки и её пролёта.

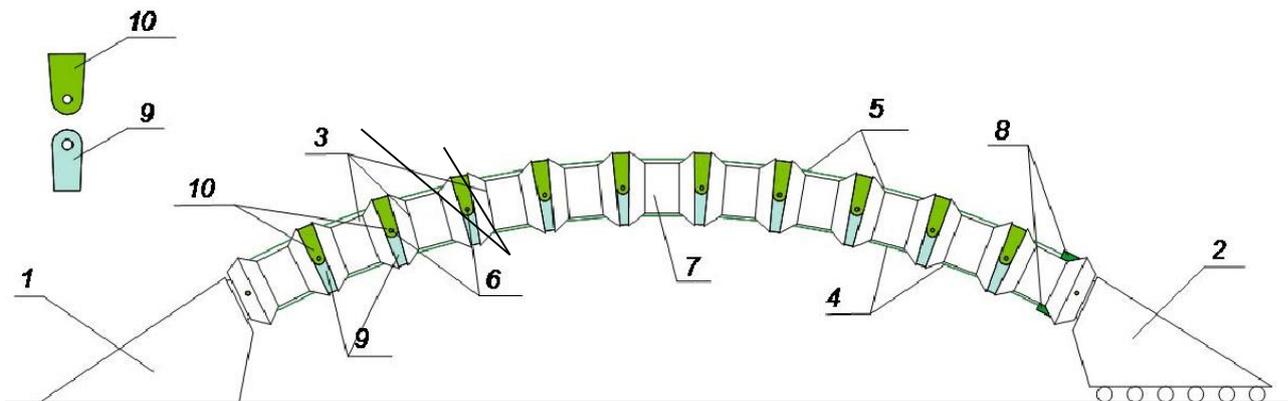
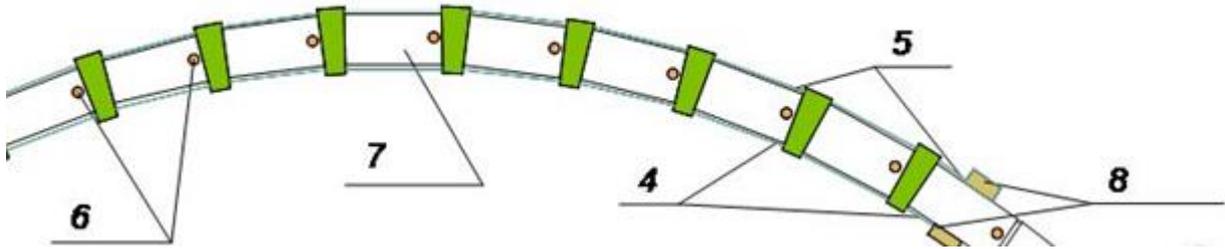


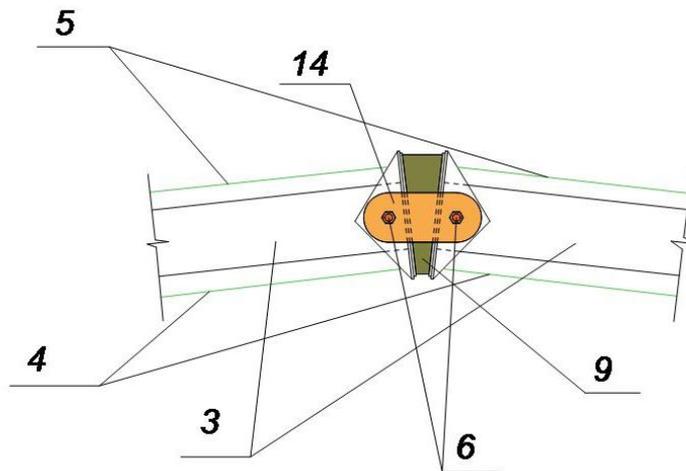
Рисунок 17. Вариант с возможностью изменения высоты подъема арки и её пролёта  
3 – рядовой модуль, 4 – тросы нижнего пояса, 5 – тросы верхнего пояса, 6 – шпильки, 7 – центральный модуль, 9 – нижний угловой фиксатор, 10 – верхний угловой фиксатор

На рисунке 18 угловой фиксатор закрепляется между модулями, действуя в качестве клина, тогда как шпилька скрепляет только модули. Угловой фиксатор не зависит от положения шпильки.



**Рисунок 18. Вариант с угловым фиксатором, действующим в качестве клина:**  
 4 – тросы нижнего пояса, 5 – тросы верхнего пояса, 6 – шпильки, 7 – центральный модуль, 8 – натяжные механизмы

Использование в соединении модулей арочной конструкции двух шпилек позволяет упростить этот узел, уменьшив количество деталей в конструкции, что очень немаловажно при изготовлении модульных конструкций в промышленных объемах (рисунок 19).



**Рисунок 19. Шпильки в соединении модулей**  
 3 – рядовой модуль, 4 – тросы нижнего пояса, 5 – тросы верхнего пояса, 6 – шпильки, 9 – угловой фиксатор, 14 – соединительная планка

Расчет арочной конструкции предполагает, что АММК представляет из себя трёхшарнирную арку. Но, в отличие от классической металлической арки с затяжкой, в этой конструкции тросовая затяжка, представляющая из себя систему тросов, находящихся в напряжённом состоянии в верхней и нижней плоскостях модуля, способствует тому, что на фундамент действует только вертикальная нагрузка. В схеме арочной конструкции для расчёта распора используют формулу:

$$H = \frac{gl^2}{8f}, \quad (1)$$

где  $g$  – расчетная постоянная нагрузка на арку,  $l$  – пролет арки,  $f$  – высота арки.

Но в данном случае поскольку затяжка повторяет контур арки, распор направлен по вдоль оси модуля и он будет равен сумме всех нагрузок  $\Sigma P$ , действующих на арочную конструкцию. Тогда момент в точке В, находящейся между первым и вторым модулем конструкции, будет выражен формулой:

$$M_B = V_A l_1 - \frac{gl_1^2}{2} = 0, \quad (2)$$

$$V_A l_1 = \frac{gl_1^2}{2}, \quad (3)$$

где  $V_A$  – опорная реакция в т. А,  $l_1$  – длина горизонтальной проекции между шарнирами в т. А и т. В,  $g$  – равномерно распределенная нагрузка.

Отсюда следует, что:

$$V_A = \frac{gl_1}{2}, \quad (4)$$

а распор при этом

$$H_A = 0, \quad (5)$$

так как ему противодействуют усилия натянутых тросов верхнего  $N_1$  и нижнего  $N_2$  поясов, которые сжимают конструкцию, с усилием, достаточным для её устойчивого проектного состояния. Равномерно распределённую нагрузку  $g$  можно заменить на точно приложенную нагрузку  $P_x$  в точках соединения модулей. В этом случае на модуль не будет действовать поперечная сила и не будет возникать изгибающих моментов (рисунок 20).

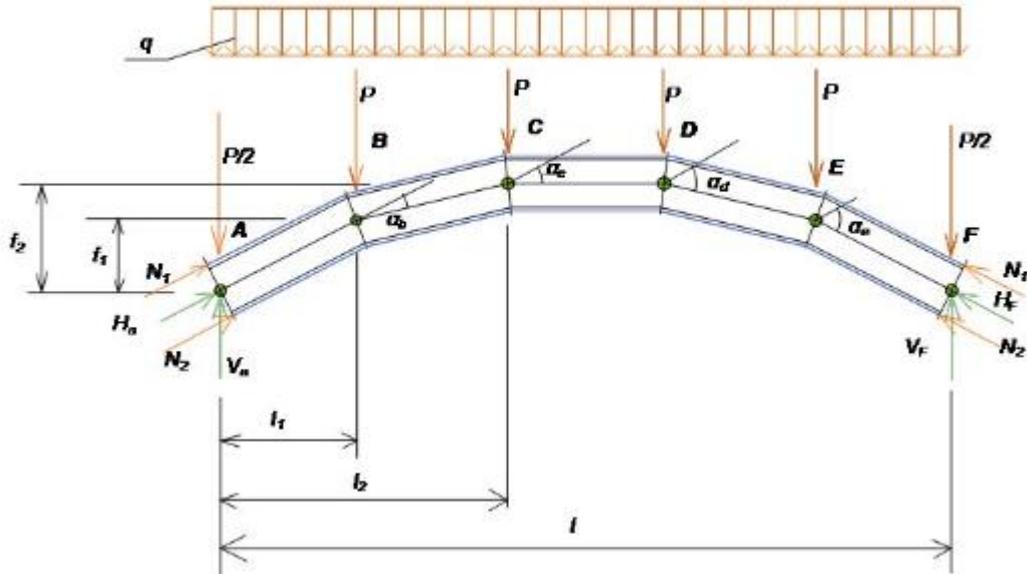


Рисунок 20. Схема нагрузок

- $g$  – равномерно-распределённая нагрузка
- $P$  – нагрузка, приложенная в точки соединения модулей ( $g \cdot l_x$ )
- $H_A$  – распор в т. А
- $V_A$  – опорная реакция в т. А
- $H_F$  – распор в т. F
- $V_F$  – опорная реакция в т. F
- $l$  – пролёт арки
- $l_1$  – длина горизонтальной проекции расстояния между т. А и В
- $l_2$  – длина горизонтальной проекции расстояния между т. А и С
- $\alpha_{b-}$  угол в т.В между направлением действия распора  $H_A$  и осью модуля ВС
- $\alpha_{c-}$  угол в т.С между направлением действия распора  $H_A$  и осью модуля CD
- $\alpha_{d-}$  угол в т. D между направлением действия распора  $H_A$  и осью модуля DE
- $\alpha_{e-}$  угол в т. между направлением действия распора  $H_A$  и осью модуля EF
- $N_1$  – усилие от натяжения верхнего троса
- $N_2$  – усилие от натяжения нижнего троса

## 6. Заключение

Унификация модулей – очень важная составляющая производства такой конструкции [30] и для решения технических задач при проектировании конструкции необходим творческий подход в [31-33].

В данном исследовании была представлена АММК, описаны различные схемы и варианты соединения модулей, приведён пример расчёта распора конструкции.

Создав несколько разновидностей модулей, ничем внешне не отличающихся друг от друга, но при этом способных выдерживать различную нагрузку (так как профильные трубы, из которых их можно изготавливать, имеют различную толщину стенки), можно до минимума сократить время для перехода на изготовление модуля такой же серии, но с другой расчётной нагрузкой. Такая конструкция решает ряд вопросов: сокращение металлоёмкости, уменьшение геометрических размеров сечений конструкции, упрощённая доставка в труднодоступные места [34], универсальность применения конструкции.

## Литература

- [1]. Энгель Х. Несущие системы, пер. с нем. Л.А.Андреевой, М.: АСТ, Астрель, 2007. 344 с.
- [2]. Андреев М.А. Патент на РФ полезную модель № 123031«Арочная многофункциональная модульная конструкция» (АММК). 2012.
- [3]. Нойферт Э. Строительное проектирование. М.: Архитектура-С, 2014. 576 с.
- [4]. Лемуан Б. Шедевры мировой архитектуры. М.: АСТ, Астель, 2008. 186 с.
- [5]. Ходилья Ф. Новейшая архитектура. М.: АСТ, Астрель, Taschen, 2008. 192 с.
- [6]. Фредерик М. 101 полезная идея для архитекторов. Спб.: Питер, 2009. 208 с.
- [7]. Анголетто М., Боккиа Ф., Кассара С. Шедевры современной архитектуры. М.: АСТ, Астрель, 2007. 303 с.
- [8]. Лебедев Ю.С. Архитектура и бионика. М.: Стройиздат, 1977. 220 с.
- [9]. Буссалли М. Понимать архитектуру. М.: ЗАО «БММ», 2007. 384 с.
- [10]. Алексеев С.П. Большепролётный спортивный комплекс (футбольный стадион) со светопрозрачным покрытием [Архитектурный блог]. 2013. URL: <http://orlova.cih.ru/blog/2013/04/08>
- [11]. Алексеев С.П. Евразийский патент на изобретение за № 016435 «Защитное сооружение с большепролётным светопрозрачным покрытием». 2011.
- [12]. Демина А.В., Здания с большепролетными покрытиями. Т.: Издательство ТГТУ, 2003. 88 с.
- [13]. Гленси Д. Архитектура. Полная энциклопедия. АСТ. Астрель, 2007. 512 с.
- [14]. Хельмске И., Отто Ф. Оболочки и пространственные конструкции в природе и в технике // Журнал «Современная архитектура». 1963. №4. С. 73-80.
- [15]. Phillips D. Daylighting Natural Light in Architecture. Burlington, MA 01803 First published, 2004. 227 p.
- [16]. Птичникова Г. «Американская архитектура и философия прагматизма (исторические связи)» // Журнал "США, Канада: экономика, политика, культура". 2004. №11. С. 36-50.
- [17]. Алексеев С. П. «Solar Green City. Архитектура для XXI века. Большепролетные светопрозрачные здания и сооружения». [Деловой журнал]. 2013. URL: <http://blog.dp.ru/post/5274/>
- [18]. Сербинович П.П., Орловский Б.Я. Архитектура, М.: Высшая школа, 1970. 408 с.
- [19]. Кринский В.Ф., Колбин В.С., Ламцов И.В., Туркус М.А. Филасов Н.В. Введение в архитектурное проектирование, М.: Стройиздат, 1974. 176 с.
- [20]. Цай Т.Н., Бородич М.К., Мандриков А.П. Строительные конструкции. Том 1. М.: Стройиздат, 1984. 656 с.
- [21]. Бартонь Н.Э., Чернов И.Е. Архитектурные конструкции. М.: Высшая школа, 1986. 334 с.
- [22]. Райзер В.Д. Теория надежности сооружений. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2010. 384 с.
- [23]. Файбишенко В.К. Металлические конструкции. М.: Стройиздат, 1984. 336 с.
- [24]. Bleich F. Buckling strength of metal structures, McGraw-Hill book company, INC. 1952. Блейх Ф. Устойчивость металлических конструкций. Пер. с англ. Сисляна Ж.С. М.: Государственное из-во физико-математической литературы, 1959. 544 с.
- [25]. ГОСТ 30245-2003. Профили стальные гнутые замкнутые сварные квадратные и прямоугольные для строительных конструкций. Технические условия. М.: ФГУП ЦПП, 2004.
- [26]. Spaethe G. Die Sicherhcit tragender Baukonstrurtionen. 1SBN 5-274-01208-6. Шпете Г. Надежность несущих строительных конструкций. Пер. с нем. О. О. Андреева. М.: Стройиздат, 1994. 288 с.
- [27]. Гаскин В.В., Иванов И.А. Сейсмостойкость зданий и транспортных сооружений. И.: Глазковская типография, 2005. 79 с.
- [28]. Сворачивающийся мост в Лондоне. <http://www.liveinternet.ru/users/5356215/post319549606/>
- [29]. Сулова О. Ю., Бичев Ю. П., «Уникальные инженерные сооружения В. Г. Шухова и практика современного строительства». 2006. <http://www.marhi.ru/open/Postgrad/shukhov/>
- [30]. Великовский Л.Б., Гуляницкий Н.Ф., Ильинский В.М., Ковригин С.Д., Кондратенков А.Н., Меньшиков Н.Г., Предтеченский В.М., Соловьев А.К., Шубин Л.Ф., Архитектура гражданских и промышленных зданий. Т.2. М.: Стройиздат, 1976. 215 с.

- [31]. Еремеев П.Г. Современные стальные конструкции большепролетных уникальных зданий и сооружений: Монография. М.: Изд-во АСВ, 2009. 336 с.
- [32]. ГОССТРОЙ СССР, СНиП II-23-81\* Часть II. Нормы проектирования. Глава 23: Стальные конструкции. Москва. Центральный институт типового проектирования. 1990.
- [33]. Технический кодекс установившейся практики ТКПЕН 1993-1-1-2009 (02250): Еврокод3 Проектирование стальных конструкций. Часть1-1. Общие правила и правила для зданий. Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь Минск. 2009.
- [34]. Снарский В.И., Технология возведения большепролетных конструкций. С.: Из-во СГТУ, 2009. 167 с.

## An arch multipurpose modular design

M.A. Andreev <sup>1</sup>

Individual entrepreneur Khizhnyakov AV,64/11, 2th Country St./Tihvinskaya St., Astrakhan, Russia, 414000

---

### ARTICLE INFO

scientific article

doi:

### Article history

Received 1 December 2015

### Keywords

The arch multipurpose modular design;  
modules;  
wide-span design;  
new design;  
engineering thought;  
small metal consumption;  
fast assembly;  
identical small-sized modules;  
the unified standard sizes;  
geometry of a design can have double  
curvature;

---

### ABSTRACT

In the present article, it is offered to examine a new design - "An arch multipurpose modular design" (AMMK). Multifunctionality of this design assumes use it for construction of wide-span buildings and constructions, tanks, ski jumps, bridges and elevated crosswalks. Besides, AMMK can be curved as in one plane, and to have a design bend in several planes. The design elements working for stretching are executed from cables. The elements working for compression represent volume small-sized modules. Such modular system of AMMK, allows carrying out delivery of a wide-span design without use of special equipment on any building site. Besides, the geometry of this design can have double curvature. "The arch multipurpose modular design" has small metal consumption in comparison with classical schemes of arches and farms, and allows reducing considerably time for delivery and installation of a design on a building site.

---

Corresponding author :

1. +7(964)8811414, Andreevast@rambler.ru (Mikhail Anatolievich Andreev, Technical Director)

## References

- [1]. Engel Kh. Nesushchiye sistemy, per. s nem. L.A.Andreyevoy, M.: AST, Astrel, 2007. 344 c.
- [2]. Andreyev M.A. Patent na RF poleznuyu model № 123031«Arochnaya mnogofunktionalnaya modulnaya konstruksiya» (AMMK). 2012.
- [3]. Noyfert E. Stroitelnoye proyektirovaniye. M.: Arkhitektura-S, 2014. 576 s.
- [4]. Lemuan B. Shedevry mirovoy arkhitektury. M.: AST, Astel, 2008. 186 s.
- [5]. Khodilya F. Noveyshaya arkhitektura. M.: AST, Astrel, Taschen, 2008. 192 s.
- [6]. Frederik M. 101 poleznaya ideya dlya arkhitektorov.Spb.: Piter, 2009. 208 s.
- [7]. Angoletto M., Bokkia F., Kassara S. Shedevry sovremennoy arkhitektury. M.: AST, Astrel, 2007. 303 s.
- [8]. Lebedev Yu.S. Arkhitektura i bionika. M.: Stroyizdat, 1977. 220 s.
- [9]. Bussali M. Ponimat arkhitekturu. M.: ZAO «BMM», 2007. 384 s.
- [10]. Alekseyev S.P. Bolsheproletnyy sportivnyy kompleks (futbolnyy stadion) so svetoprozrachnym pokrytiyem [Arkhitekturnyy blog]. 2013. URL: <http://orlova.cih.ru/blog/2013/04/08>
- [11]. Alekseyev S.P. Yevraziyskiy patent na izobreteniyе za № 016435 «Zashchitnoye sooruzheniye s bolsheproletnym svetoprozrachnym pokrytiyem». 2011.
- [12]. Demina A.V., Zdaniya s bolsheproletnymi pokrytiyami. T.: Izdatelstvo TGTU, 2003. 88 s.
- [13]. Glensi D. Arkhitektura. Polnaya entsiklopediya. AST. Astrel, 2007. 512 s.
- [14]. Khelmske I., Otto F. Obolochki i prostranstvennyye konstruksii v prirode i v tekhnike // Zhurnal «Sovremennaya arkhitektura». 1963. №4. S. 73-80.
- [15]. Phillips D. Daylighting Natural Light in Architecture. Burlington, MA 01803 First published, 2004. 227 p.
- [16]. Ptichnikova G. «Amerikanskaya arkhitektura i filosofiya pragmatizma (istoricheskiye svyazi)» // Zhurnal "SShA, Kanada: ekonomika, politika, kultura". 2004. №11. S. 36-50.
- [17]. Alekseyev S. P. «Solar Green City. Arkhitektura dlya KhKhI veka. Bolsheproletnyye svetoprozrachnyye zdaniya i sooruzheniya». [Delovoy zhurnal]. 2013. URL: <http://blog.dp.ru/post/5274/>
- [18]. Serbinovich P.P., Orlovskiy B.Ya. Arkhitektura, M.: Vysshaya shkola, 1970. 408 s.
- [19]. Krinskiy V.F., Kolbin V.S., Lamtsov I.V., Turkus M.A. Filasov N.V. Vvedeniye v arkhitekturnoye proyektirovaniye, M.: Stroyizdat, 1974. 176 s.
- [20]. Tsay T.N., Borodich M.K., Mandrikov A.P. Stroitelnyye konstruksii. Tom 1. M.: Stroyizdat, 1984. 656 s.
- [21]. Barton N.E., Chernov I.Ye. Arkhitekturnyye konstruksii. M.: Vysshaya shkola, 1986. 334 s.
- [22]. Rayzer V.D. Teoriya nadezhnosti sooruzheniy. M.: Izdatelstvo Assotsiatsii stroitelnykh vuzov, 2010. 384 s.
- [23]. Faybishenko V.K. Metallicheskiye konstruksii. M.: Stroyizdat, 1984. 336 s.
- [24]. Bleich F. Buckling strength of metal structures, McGraw-Hill book company, INC. 1952. Bleykh F. Ustoychivost metallicheskiy konstruksiy. Per. s angl. Sislyana Zh.S. M.: Gosudarstvennoye iz-vo fiziko-matematicheskoy literatury, 1959. 544 s.
- [25]. GOST 30245-2003. Profili stalnyye gnutyie zamknutyie svarnyye kvadratnyye i pryamougolnyye dlya stroitelnykh konstruksiy. Tekhnicheskiye usloviya. M.: FGUP TsPP, 2004.
- [26]. Spaethe G. Die Sicherhcit tragender Baukonstrurtionen. 1SBN 5-274-01208-6. Shpete G. Nadezhnost nesushchikh stroitelnykh konstruksiy. Per. s nem. O. O. Andreyeva. M.: Stroyizdat, 1994. 288 s.
- [27]. Gaskin V.V., Ivanov I.A. Seysmostoykost zdaniy i transportnykh sooruzheniy. I.: Glazkovskaya tipografiya, 2005. 79 s.
- [28]. Svorachivayushchiysya most v Londone. <http://www.liveinternet.ru/users/5356215/post319549606/>
- [29]. Suslova O. Yu., Bichev Yu. P., «Unikalnyye inzhenernyye sooruzheniya V. G. Shukhova i praktika sovremennogo stroitelstva». 2006. <http://www.marhi.ru/open/Postgrad/shukhov/>
- [30]. Velikovskiy L.B., Gulyanitskiy N.F., Ilinskiy V.M., Kovrigin S.D., Kondratenkov A.N., Menshikov N.G., Predtechenskiy V.M., Solovyev A.K., Shubin L.F., Arkhitektura grazhdanskikh i promyshlennykh zdaniy. T.2. M.: Stroyizdat, 1976. 215 s.
- [31]. Yeremeyev P.G. Sovremennyye stalnyye konstruksii bolsheproletnykh unikalnykh zdaniy i sooruzheniy: Monografiya. M.: Izd-vo ASV, 2009. 336 s.

[32]. GOSSTROY SSSR, SNiP II-23-81\* Chast II. Normy proyektirovaniya. Glava 23: Stalnyye konstruksii. Moskva. Tsentralnyy institut tipovogo proyektirovaniya. 1990.

[33]. Tekhnicheskiy kodeks ustanovivsheysya praktiki ТКПЕН 1993-1-1-2009 (02250): Yevrokod3 Proyektirovaniye stalnykh konstruksiy. Chast1-1. Obshchiye pravila i pravila dlya zdaniy. Ministerstvo arkhitektury i stroitelstva Respubliki Belarus Minsk. 2009.

[34]. Snarskiy V.I., Tekhnologiya vozvedeniya bolsheproletnykh konstruksiy. S.: Iz-vo SGTU, 2009. 167 s.

*Андреев М.А. Арочная многофункциональная модульная конструкция // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. №2 (41). С. 91-107.*

*Andreev M.A. An arch multipurpose modular design. Construction of Unique Buildings and Structures, 2016, 2 (41), Pp. 91-107. (rus)*