

**ГАБАРИТНО – КОНСТРУКТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ АРОК (ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ И
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ) ПРИ НАГРУЖЕНИИ
ВЕРТИКАЛЬНОЙ НАГРУЗКОЙ**

Фролова А.С. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

Арочные конструктивные элементы обладают огромным несущим потенциалом. Приведены примеры использования таких конструкций в качестве элементов зданий и сооружений, а также моделей экспериментальных исследований. Выполнен анализ габаритно-конструктивных особенностей.

Арка – архитектурно-конструктивный элемент зданий и инженерных сооружений, имеющих очертание кривой, выгнутой в сторону нагрузок. Очертание оси арки выбирается близким к кривой давления от постоянной нагрузки, чтобы в сечениях возникали по возможности сжимающие напряжения при наименьших изгибающих моментах. Сечение арки нередко подбирают из условия устойчивости [1]. Обычно подъем арки (f) принимают $(1/7 \div 1/6) L$. Но при больших пролетах (L) доходит до $1/10 L$. При стреле подъема $(1/4 \div 1/2) L$ очертание принимается по параболе, а при $f < 1/4 L$ – по окружности. Примерная высота сечений арок в зависимости от количества шарниров назначается так: бесшарнирная – $L / \delta = L / \delta_1 = L / \delta_2 = 40$; двухшарнирная – $L / \delta = 35$; $L / \delta_1 = 70$; $L / \delta_2 = 35$; трехшарнирная – $L / \delta = 30$; $L / \delta_1 = 60$; $L / \delta_2 = 60$. Здесь $\delta, \delta_1, \delta_2$ – высота сечения арки: в четверти, в пяте, в коньке – соответственно.

В Канаде [1] построен ангар с применением трехшарнирных железобетонных арок пролетом 33,4 м опирающихся на консоли Г-образных рам. С целью снижения веса арок расстояние между ними принято всего 3,04 м, а каждая половина арки при длине 18,2 м имеет постоянную ширину сечения 25,4 см и переменную высоту от 38 до 66 см при весе около 6,5 т. Поверх арок уложены узкие плиты шириной 45 см.

В Куйбышевгидрострое при строительстве трансформаторного корпуса были изготовлены арки с затяжкой для покрытий пролетами 24 и 36 м при шаге 12 м; отношение стрелы подъема к пролету $f / L = 3,97 / 36 \sim 1 / 9$. Верхний пояс собран из четырех сборных элементов

длиной 6 м двутаврового сечения высотой 1000 мм, шириной полки 500 мм и толщиной стенки двутавра 80 мм. Затяжка сечением 440 x 440 мм предварительно напряженная струнобетонная изготовлена в виде одного элемента вместе с опорной частью арки. Таким образом, наиболее ответственный узел, где усилия распора передаются на затяжку, изготовлен в виде монолитного элемента с надежным заанкериванием растянутой арматуры затяжки в опорную сжатую зону. Два приопорных сборных элемента верхнего пояса имеют длину 4,5 м. Элементы арки готовились на виброплощадке из бетона класса В 30 (марки 400). Арка рассчитывалась, как двухшарнирная параболического очертания с затяжкой и гибкими подвесками, исходя из условий работы в упругой стадии.

Ленпромстройпроектом при участии НИИЖБ были разработаны технические решения большепролетных составных железобетонных двухшарнирных арок пролетом 60 и 96 м. В основу конструирования большепролетных арок легли следующие положения:

- арки проектируются плоскими, сборными, предварительно напряженными;
- арки собираются из звеньев, изготовленных на заводе железобетонных изделий или на полигоне;
- вес и габариты отдельных звеньев выбираются транспортабельными к месту укрупнительной сборки и удобными для монтажа, длина звена не превышает 17 м и вес 25 т;
- напряжение арматуры производится с упором на бетон;
- укрупнительная сборка производится в проектном положении или у места подъема.

Геометрическая ось арки очертана по окружности. Стрела подъема – 10 м, пролет – 96 м. Двутавровое сечение верхнего пояса высотой 2,4 м, шириной полки – 0,60 м. Затяжка сечением 0,45 x 0,55 м из высокопрочной проволоки с предварительным напряжением. Напряжение арматуры предусмотрено в два этапа: до загрузки и после загрузки собственным весом плит покрытия. Элементы верхнего каркаса армированы каркасами из стали класса А – III (А 400), соединяются между собой сваркой закладных деталей с зачеканкой швов цементным раствором. Бетон применяют (класса В) марки 500. Конструкция арки рассчитана на основную расчетную нагрузку 450 кг/м^2 и нагрузку от сосредоточенных сил по 3,9 т через 6 м по всей длине нижнего пояса. Подбор сечения верхнего пояса арки выполнен с учетом работы плит покрытия.

В Монтгомери (США) [2] построен «колизей» (скотоводческий манеж). Покрытие монолитное железобетонное из арок с шагом 8,4 м

между которыми монолитные плиты толщиной от 9 до 18 сантиметров. Сечение арок в коньке 1000 x 600 мм. Пролет арок – 113 м, стрела подъема – 29,1 м. Ребра - арки опираются на Л – образные рамы. По периметру пересечения арок и стен проходит бортовая балка двойкой кривизны. Вдоль каждой второй арки устроены деформативные швы. Покрытие возведено на переставной опалубке с поддерживающими лесами. В Довилле (Франция) построен Центр мореплавания. Применены монолитные железобетонные арки пролетом 46 м, стрелой подъема 5,7 м. Шаг арок – ребер – 14 м. толщина покрытия между арками $15 \div 20$ см. Арки опираются непосредственно на фундаменты. Предварительно напряженное армирование выполнено пучками типа Фрейсине. В Лапаркшире (Англия) [3] построен плавательный бассейн. В качестве несущих элементов покрытия применены параболические ребра – арки с опиранием на фундаменты. Арочный пролет – 97,0 м, стрела подъема ~ 18 м. Шаг между арками ~ 7,2 м. Заполнение между арками – ребрами выполнено в виде оболочек эллиптического очертания с вутами. Стрела подъема оболочек 1,9 м.

Пример приведенный Г. Бомгардом [2] наглядно поясняет как благодаря синтезу мероприятий, с помощью выбора соответствующего материала (легкий бетон), технологии изготовления и предварительно напряженности осуществляется дальнейшее развитие арочных структур, и превращение их в качественно новые типы большепролетных покрытий: эллинг для дирижаблей (Орли) – пролет 80 м; выставочный павильон (Турин) – 95,1 м; пакетно-перегрузочный зал (Мюнхен) – 148 м; мост через реку Онгерманелзвен (Швеция) – 280 м; павильон Национальной промышленности в Париже – 206 м; мост через реку Парана на границе между Бразилией и Парагваем – 290 м.

Известные габаритно – конструктивные характеристики экспериментальных исследований на моделях железобетонных арок при вертикальном нагружении приведены ниже:

а) бесшарнирные арки:

Модель 1 [4] со следующими геометрическими характеристиками: пролет $l = 236$ см, стрела подъема $f = 70$ см, высота сечения в замке $h_z = 4,9$ см, в пяте $h_n = 8,6$ см, ширина $b = 20$ см. Армирование симметричное по два стержня $\varnothing 8$ с каждой стороны сечения, арматура с пределом текучести $R_a = 2560$ кг / см². Хомути $\varnothing 3$ мм. Прочностные характеристики бетона – $R = 270$ кг / см²; $R_{пр} = 230$ кг / см²; $R_u = 185$ кг / см².

Модель 2 [4] пролетом $l = 232$ см, со стрелой подъема $f = 45$ см, высота замкового сечения $h_z = 5,6$ см, в пятового сечения $h_n = 7,6$ см, ширина $b = 20$ см. Закон изменения поперечных сечений: $h_i = h_0 / \cos \alpha_i$. Прочность бетона $R = 250$ кг / см²; $R_{пр} = 175$ кг / см²;

Модель 3 [5] пролетом $l = 235$ см, стрела подъема $f = 46$ см, высота сечения в замке и пяте соответственно $h_z = 4,9$ см и $h_n = 8,6$ см, ширина $b = 20$ см.

Модель 4 [5] - пролет $l = 232$ см, стрела подъема $f = 45$ см, высота сечения: $h_z = 5,6$ см и $h_n = 7,6$ см, ширина $b = 20$ см.

Прочность бетона моделей 3 и 4: $R = 200$ кг / см²; $R_{пр} = 145$ кг / см². Армирование арок осуществлялось четырьмя гладкими стержнями Ø 8 мм из стали класса А-I (А 240). Хомуты из проволоки Ø3 мм ставились через 5 сантиметров.

б) двухшарнирные арки:

Модель 5 [6] с затяжкой выполнялась пролетом $l = 200$ см, со стрелой подъема $f = 40$ см, постоянного сечения $h \times b = 10 \times 8$ см. Затяжки для разных серий этой модели выполнялись из стержней Ø 12 мм, Ø 8 мм и из двух равнобоких уголков 45 x 45 x 5 мм. Образцы всех серий выполнялись из бетона состава 1 : 1,7 : 4,36 при В / Ц = 0,58. Прочность бетона в возрасте 28 суток составила 200 – 250 кг / см². Для армирования использовалась арматура класса А – I (А 240).

Модель 6 [7]: натурная арка пролетом 36 м состояла из трех отдельных блоков верхнего пояса, затяжки, выполненной совместно с опорными узлами, и пяти подвесок. Верхний пояс очерчен по кругу радиусом 41,6 м. Блоки, из которых собирался верхний пояс, представляли собой в поперечном сечении двутавр шириной 50 см, высотой 100 см и толщиной стенки 8 см. У блоков имелись поперечные ребра жесткости, которые располагались через 1,5 м по длине блока. Армирование блока симметричное из пяти стержней Ø 28 мм с каждой стороны из арматуры класса А – III (А 400). Затяжка представляла собой предварительно напряженный элемент сечением 44 x 44 см, длиной 36 м с опорными узлами. Затяжка армирована высокопрочной проволокой периодического профиля класса Вр – II в количестве 200 штук в поперечном сечении. Размеры подвесок 15 x 25 см. Все элементы арки изготовлялись из бетона марки 400, состава 1 : 1,06 : 2,7 при В / Ц = 0,34.

Модель 7 [7] выполнялась из бетона той же марки и того же состава, что и модель 6, при В / Ц = 0,43. Прочность бетона в возрасте 28 дней составила 372 – 433 кг / см². В качестве предварительно напряженной арматуры в затяжке – высокопрочная проволока периодического профиля Ø 5 мм ($R_a = 16000$ кг / см²). Несущая арматура блоков верхнего пояса – горячекатаная класса А – III (А 400). Пролет модели 9 м, высота подъема $f = 99$ см, верхний пояс выполнялся двутавровым высотой 25 см, шириной 12,5 см и толщиной стенок и полок 2 см, затяжка – квадратного сечения 11 x 11 см.

Модель 8 [8]: образцы изготовлялись из бетона марки 300 с водоцементным отношением (по весу) 0,44. Геометрические характеристики следующие: пролет $l = 200$ см, со стрелой подъема $f = 30$ см, постоянное сечение $h \times b = 10 \times 10$ см. Армирование производилось четырьмя стержнями $\varnothing 8$ мм.

На основании выполненного обзора определены характерные отношения габаритов арок, которые составили:

- бесшарнирные арки - в пяте $L / \delta_1 = 40 \div 49$, в коньке $L / \delta_1 = 27 \div 30$;
- двухшарнирные арки - $L / \delta = 20 \div 40$.

Выводы

В практике строительства до настоящего времени мало применяются пологие арки с отношением $L/\delta > 60$ и экспериментальные данные не дают ясной картины с учетом возросших требований проектирования, где заложен экономический эффект.

Литература

1. Дорофеев В.С., Яременко А.Ф., Яременко Е.А. Рациональные формы арок и сводов. – Одесса: ООО «Внешрекламсервис», - 2003. – 109 с.
2. Сахновский К.В., Горенштейн Б.В., Линецкий В.Д. Сборные тонкостенные пространственные и большепролетные конструкции. – Л.: Стройиздат, 1969. – 429 с.
3. Пространственные покрытия (конструкции и методы возведения). т.1. Железобетон, армоцемент. – М.: Стройиздат, 1973. – 304 с.
4. Бюттнер О., Хамне Э. Сооружение – несущая конструкция – несущая структура. – М.: Стройиздат, 1983. – 340 с.
5. Джапаридзе Г.С. Исследование рациональных форм железобетонных арок на основе теории предельного равновесия. Автореферат на соискание к.т.н. – Тбилиси, 1968. – 29 с.
6. Ахвледиани Н.В., Джапаридзе Г.С., Хизанишвили А.Л. Экспериментальное исследование несущей способности железобетонных бесшарнирных арок, при малых эксцентриситетах продольных сил./ Сб. «Расчет и испытание железобетонных конструкций» - Тбилиси, 1966. – с. 54-60
7. Ерохин М.П. Экспериментально – теоретические исследования железобетонных арок при длительных воздействиях нагрузки. Автореферат на соискание к.т.н. – Ленинград, 1970. – 24 с.
8. Мельников Е.Г. Исследование работы пологих двухшарнирных арок./ Сб. «Длительные деформативные процессы в бетонных и железобетонных конструкциях» - М.: Стройиздат, 1970. – с. 195 – 202
9. Щелкунов В.Г. Напряженное состояние арочных конструкций с учетом длительных процессов. / Сборник ЦНИИСК «Строительные конструкции», вып. I – К.: Будівельник, 1965. – с. 97 - 109