# РАБОЧАЯ МОДЕЛЬ КОНСТРУКЦИЙ СВОДОВ

WORKING MODEL OF ARCH STRUCTURES

**УДК 69.07**

**Киселева Ольга Владимировна,** магистрант, Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону

**Kiseleva O.V.** temereva_olga@mail.ru

**Аннотация**

В статье описываются конструкции сводчатого покрытия, из сборных железобетонных элементов для прямоугольных в плане однопролетных или многопролетных зданий. Рассматривается рабочие модели распределение нагрузок, напряжения, и деформации на цилиндрический свод со ступенчато распределенной нагрузкой; цилиндрический свод с распалубкой; цилиндрический свод с сосредоточенной нагрузкой; крестовый свод. Сочетание нескольких видов нагрузки вызывает сложную деформацию распорных систем, в которой необходимо выделить долю каждого вида, в том числе и преобладающего, так как нередко суммируются несимметричные прогибы.

**Annotation**

The article describes the construction of a vaulted roof made of precast concrete elements for rectangular single-span or multi-span buildings. Working models of the distribution of loads, stresses, and deformations on a cylindrical vault with a stepwise distributed load are considered; cylindrical vault with stripping; concentrated load cylindrical vault; cross vault. The combination of several types of load causes a complex deformation of spacer systems, in which it is necessary to

highlight the share of each type, including the predominant one, since asymmetric deflections are often summed up.

**Ключевые слова:** Свод, сводчатые конструкции, цилиндрический свод, крестовый свод; сомкнутый свод, элементарные арки, эпюра распора.

**Keywords:** Vault, vaulted structures, cylindrical vault, cross vault; closed vault, elementary arches, expansion diagram.

Свод (от *«сводить»* — соединять, смыкать) — в архитектуре тип перекрытия или покрытия пространства (помещения), ограниченного стенами, балками или столбами — конструкция, которая образуется наклонными поверхностями (прямолинейными или криволинейными). Своды позволяют перекрывать значительные пространства без дополнительных промежуточных опор, используются преимущественно в круглых, многоугольных или эллиптических в плане помещениях. Сводчатые покрытия проектируются, как правило, из сборных железобетонных элементов для прямоугольных в плане однопролетных или многопролетных зданий. По продольным краям (вдоль образующей) своды могут опираться на колонны, стены или непосредственно на фундаменты.

Распор сводов воспринимается затяжками из стали или железобетона, поперечными стенами, рамами, контрфорсами или фундаментами. При проектировании сводов следует учитывать податливость элементов или конструкций, воспринимающих распор. Уменьшение податливости поперечных стен, контрфорсов и фундаментов может быть обеспечено установкой затяжек, расположенных ниже уровня пола.

Каждый тип свода может быть представлен как система элементарных арок или полуарок, образующих форму свода и несущих свою часть нагрузки. Равномерное распределение нагрузки вдоль цилиндрической части свода обеспечивает каждой его элементарной арке одинаковый режим работы, т.е. аналогичные напряжения и деформации, поэтому влияние смежных участков не проявляется. Сосредоточенная нагрузка, деформирующая данный участок,

включает в совместную работу и соседние полосы, причем ширина «подключения» зависит от толщины свода, способа кладки и прочности раствора. Сочетание нескольких видов нагрузки вызывает сложную деформацию распорных систем, в которой трудно выделить долю каждого вида, в том числе и преобладающего, так как нередко суммируются несимметричные прогибы.

Собственно расчет каменной арки, символизирующей самостоятельную конструкцию, отдельный деформационный блок или характерную деталь свода, может быть сведен к проверке несущей способности ее сжатой зоны. Форма арки или свода, при которой любое сечение под действием нагрузки работает в наиболее рациональном для кладки режиме, т.е. симметрично сжато, наиболее рациональна и отвечает условию: Mx= Hfx, т.е. безмоментной кривой. На практике большинство построенных сводов по различным причинам, а также по чисто эстетическим соображениям не абсолютно рациональны, их сечения обжаты несимметрично.

Растянутая часть сечения в работе не участвует, хотя при наличии упругого раствора способна удерживать растягивающие напряжения до 0,15 МПа. Растянутая часть сечения может располагаться с внутренней или наружной поверхности свода в соответствии с характером деформации. При центральной нагрузке на свод растяжение наблюдается обычно в центральной трети пролета на нижней поверхности и в боковых третях — на верхней. Глубина растянутой части сечения растет при деформации свода пропорционально уменьшению высоты работающей сжатой зоны. Высота сжатой зоны сечения — основной показатель устойчивости арочной конструкции, сложенной из кирпича или камня. Для любого внецентренно сжатого сечения свода высота сжатой зоны приблизительно равна удвоенному расстоянию от точки приложения нормальной силы N до ближайшего края сечения, т.е.

$$hc = (h/2 — e)2$$

где hc — высота сжатой зоны;

h = полная высота сечения;

e= M/N— эксцентриситет приложения нормальной силы относительно центра сечения.

**Работа отдельных сводов**

Рабочая схема простого цилиндрического свода представляет систему независимых параллельных арок (рис. 1).

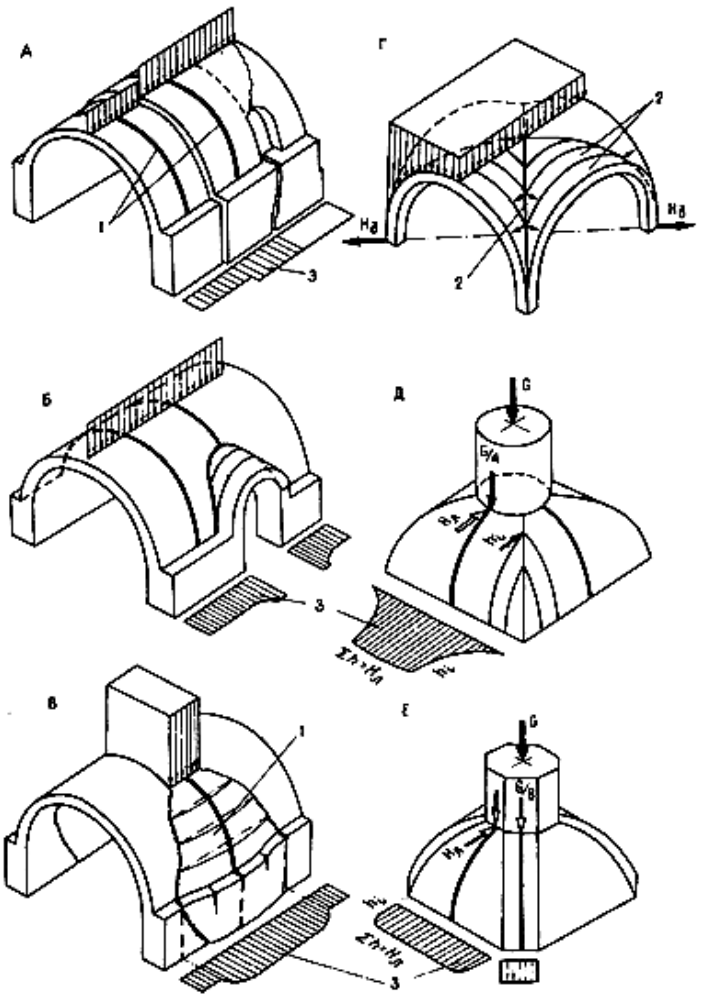


*Рис. 1. Рабочие схемы сводов Л — цилиндрический свод со ступенчато распределенной нагрузкой; Б— цилиндрический свод с распалубкой; В — цилиндрический свод с сосредоточенной нагрузкой; Г— крестовый свод; Д, Е — сомкнутый свод с центральной нагрузкой; 1 — элементарные арки; 2 — условное диагональное ребро; 3 — эпюра распора.*

При наличии распалубок (см. рис. 1, Б) распор и давление упирающихся в них арок передаются на опору свода вдоль ребер распалубок, обжатых

подобно ребрам крестового свода. Часть распора может передаваться непосредственно вдоль оси распалубки, если ее образующие касательны к оси арок. Рабочую схему цилиндрического свода с распалубками можно представить либо как систему арок, разветвляющихся вокруг распалубок (тогда полоса сбора нагрузки на арку равна шагу распалубок или простенков), либо как систему обычных элементарных арок, упирающихся в условные арочные элементы, оконтуривающие распалубки. Усилия и напряжения в кладке концентрируются вокруг распалубок, увеличиваясь по мере приближения к опоре свода в простенках. Распалубки с забутовкой между ними значительно снижают деформативность арочного контура свода, разделяя его на «активную» — пролетную и неподвижную части. Анализ деформаций сводов выявляет довольно четкую границу между этими частями, проходящую в зоне наклона радиальных швов 30—40°.

Распалубки используются в цилиндрических сводах также как средство местной разгрузки несущих стен и переноса давления на соседние участки при устройстве всевозможных проемов. Регулярное расположение распалубок позволяет иногда перенести давление и распор свода на отдельные столбчатые опоры. В целом же сосредоточенная передача опорных реакций характерна для крестовых сводов , представляющих комбинацию четырех распалубок.

Рабочая модель крестового свода (см. рис. 1, Г) — система элементарных арок, образующих распалубки и передающих давление и распор на диагональные ребра. Существуют своды, например готические, где диагонали как основные несущие элементы выполнены из более прочного, чем распалубки, материала, имеют постоянное сечение и выделены на поверхности свода в виде нервюр. Для подавляющего большинства крестовых сводов ребра служат жесткостными элементами лишь в силу естественного утолщения кладки при сопряжении смежных распалубок. Сечение и ширина таких «естественных» ребер — величина переменная и может быть определена по характеру преобладающих деформаций кладки, участвующей одновременно в работе диагонали и арок распалубки.

Диагональ испытывает неравномерное, нарастающее к пятам вертикальное давление, соответствующее опорным реакциям элементарных арок распалубки, и горизонтальную нагрузку от их распоров, направленную к углам свода, т.е. растягивающую диагональ. Суммарное действие этих двух видов нагрузки создает неравномерное обжатие сечений диагонального ребра— большое на опорном участке и очень малое в замке. Слабое обжатие замковых сечений диагоналей и, соответственно, всей центральной зоны — характерная особенность крестовых сводов, вследствие чего они неспособны нести сосредоточенные центральные нагрузки.

Сомкнутый свод (см. рис. 1 Д, Е) представляет в общем случае сочетание двух пар цилиндрических или вспарушенных лотков. Рабочую схему сомкнутого свода можно рассматривать как систему элементарных полуарок, образующих лотки и передающих распор в условные диагональные ребра, а при наличии центрального светового барабана — и в его опорное кольцо. Нижней опорой (пятой) элементарные полуарки передают распор и грузовое давление на опорный контур свода. Диагональные ребра сомкнутых сводов образуются как элементы формы при сопряжении (смыкании) лотков и основными несущими элементами не являются. Главными рабочими элементами служат центральные лотковые полуарки (короткого пролета для вытянутых в плане сводов) и нижний опорный контур.

Расчет показывает, что от любого вида нагрузки опорные реакции элементарных полуарок возрастают от углов к середине. Для сводов, загруженных только распределенными нагрузками, эпюра давления лотка имеет вид простого или выпуклого треугольника, а эпюра распора— параболического (вогнутого в разной степени) треугольника — в соответствии с подъемностью свода и видом нагрузки. Суммарное давление и распор лотка численно равны площадям соответствующих эпюр. Из их анализа следует, что на среднюю треть лотка приходится приблизительно 2/3 суммарного давления и распора, а угловые трети практически не работают.

Большое обжатие центральной зоны, равное суммарному распору всех лотков, позволяет сомкнутому своду нести тяжелую центральную нагрузку (еще больше увеличивающую это обжатие). Благодаря этому свойству сомкнутый свод использовался для перекрытия большинства бесствольных храмов XVII—XVIII вв. Сосредоточенный распор, создаваемый тяжелым световым барабаном и конструкцией завершения, гасился толщиной и замкнутым армированием несущих стен, а также двумя (четырьмя) парами перекрестных воздушных связей, которые ставились в зоне наибольших деформаций лотков. Лотки больших сводов выкладывались с гуртами. Относительное выравнивание давления и распора между средней третью и угловыми частями опорного контура достигалось различными приемами — вспарушенностью лотков, введением угловых клиновых вставок, устройством по оси лотков разгрузочных отверстий, кладкой «в елку». При пятиглавом завершении выравнивающим давление фактором служила масса угловых барабанов.

Крещатый свод может быть представлен либо как система двух пар главных пересекающихся арок, несущих тяжелую центральную нагрузку, и четырех диагональных полуарок, собирающих нагрузку с угловых частей свода, либо как система полуарок сомкнутого свода с центральными распалубками, разрезающими лотки до уровня «зеркала» или опорного кольца барабана. Вторая схема показательнее для случая, когда центральные арки не выделены технологически, например утолщением или швом. Ширина неявных главных арок в этом случае может быть определена по характеру нагрузки и другим конструктивным признакам, выделяющим центральный деформационный блок. На практике она приблизительно равна удвоенному расстоянию от края центрального проема до заделки в лоток воздушной связи. Вторая схема может быть применена для сомкнутого свода с распалубками, люкарнами и другими отверстиями, разгружающими центральные зоны лотков и опорного контура.

**Литература**

1. Бартенев И. А. Конструкции русской архитектуры XVIII—XIX вв.: Учеб. пособие. — Л., 1982.
2. Сомов А. И., Таненбаум А. С. Купол // Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона : в 86 т. (82 т. и 4 доп.). — СПб., 1890—1907.
3. Кузнецов А. В. Своды и их декор. — М., 1938.
4. Реставрация памятников архитектуры. Подъяпольский С.С., Бессонов Г.Б., Беляев Л.А., Постникова Т.М. М., 2000
5. Беляев Н. М. Сопротивление материалов. Издательство Наука, 1965 год. Стр.584-590
6. Лебедева Н. В. Фермы, арки, тонкостенные пространственные конструкции. М.: Архитектура-С. 2006 год. Стр.24-35

**Literature**

1. Bartenev IA Constructions of Russian architecture of the 18th-19th centuries: Textbook. allowance. - L., 1982.
2. Somov A. I., Tanenbaum A. S. Dome // Encyclopedic Dictionary of Brockhaus and Efron: in 86 volumes (82 volumes and 4 additional). - SPb., 1890-1907.
3. Kuznetsov A. V. Vaults and their decor. - M., 1938.
4. Restoration of architectural monuments. Podyapolsky S.S., Bessonov G.B., Belyaev L.A., Postnikova T.M. M., 2000.
5. Belyaev NM Resistance of materials. Publishing house Science, 1965. Pages 584-590.
6. Lebedeva NV Farms, arches, thin-walled spatial structures. Moscow: Architecture-S. 2006 year. Pages 24-35.