

**Возведение монолитных железобетонных пневмокуполов**

Донсков Ю.Е.

(Научный руководитель – Коршун Е.Л.)

Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Беларусь

Проблемы проектирования больших по размеру зданий без тяжелых трудоемких покрытий и промежуточных опор поставили перед архитекторами и конструкторами задачу создания легких и прочных сводчатых конструкций. Пространственно изогнутые и тонкостенные, эти конструкции, благодаря непрерывности и плавности геометрических форм обладают свойством равномерного распределения сил по всему сечению. Сама геометрия формы помогает им стать прочнее.

В прошлом веке были разработаны и реализованы в строительстве различные типы монолитных и сборных железобетонных тонкостенных куполов-оболочек сложной конструкции для покрытий большепролетных зданий и сооружений: сферические, зонтичные, ребристые и других видов кривизны.

Уменьшение массы конструкций и сооружений является одной из основных тенденций в строительстве. Снижение массы означает уменьшение объема материала, необходимости его добычи, переработки, транспортировки и монтажа. Поэтому вполне естественен интерес, который возникает строителей и архитекторов к новым формам конструкций, что дает особенно большой эффект при возведении покрытий. В купольных оболочках наиболее полно используются пластические и прочностные возможности материала, что, по сравнению с покрытиями из линейных и плоских конструкций, снижает расход бетона на 30...35% и стали на 20...25%. Так, масса железобетонного ребристого покрытия при сравнительно небольших пролетах составляет 400...500 кг/м перекрываемой площади; масса железобетонных куполов при пролетах 40...50 м составляет около 300 кг/м. Применение большепролетных купольных конструкций дает возможность максимально использовать несущие качества материала и получить за счет этого легкие и экономичные покрытия.

Подобные железобетонные конструкции активно внедряются в таких промышленных и гражданских зданиях, где требуется расположение крупногабаритного оборудования: логистические терминалы, где небольшие пролеты не позволяют двигаться погрузочно-разгрузочной технике, торговые комплексы, спортивные сооружения, автопарки. В практике строительства существует много примеров возведения оригинальных железобетонных конструкций, имеющих сложную форму, что позволяет архитекторам реализовывать самые причудливые проекты.

По индивидуальным заказам могут быть изготовлены надувные опалубки для строительства куполов любой формы: тела вращения (цилиндр, конус, шар, эллипсоид и др.) или другие нетрадиционные объекты. Предельные размеры воздухоопорных пневмонадувных опалубок определяются формой оболочки и используемыми для ее изготовления современными гибкими армированными высокопрочными материалами.

Шаровидные пневматические надувные опалубки применимы при оперативном возведении зданий и сооружений социально-бытового назначения, таких как кафе, дискотеки, киноконцертные комплексы, спортивные арены, ангары и др.

Независимо от назначения и условий эксплуатации пневматических надувных опалубок конструкционные материалы для них должны обладать достаточной (определяемой расчетом) прочностью при испытании на разрыв, малой массой, эластичностью, минимальной газопроницаемостью, свето- и погодостойкостью, негорючестью (по крайней мере, материал должен быть трудновоспламеняемым), достаточным сопротивлением расслаиванию (адгезией) между газосодержащим и армирующим слоями, биостойкостью, тепло- и морозостойкостью. Этим требованиям отвечают композиционные материалы, изготовленные на основе высокопрочных синтетических волокон с газосодержащим слоем из резиновой или термопластичной пленки.

После бетонирования фундамента и подготовки основания расстилают пневмоопалубку и крепят ее к анкерам. Сверху раскладывают гибкие тканевые лепестки и крепят их к вершине пневмоопалубки. На разостланную пневмоопалубку последовательно укладывают слои облицовки, паро-, тепло- и гидроизоляции, гибкую сварную сетку и бетонную смесь. До начала схватывания цемента в

пневмоопалубку подают вентиляторами воздух для создания в ней избыточного давления. По мере наполнения пневмоопалубки воздухом, гибкие тканевые лепестки вместе с уложенными на них материалами наползают на пневмоопалубку, изгибаясь и приобретая проектную форму. Швы между лепестками купола заделывают сразу после окончания подъема пневмоопалубки в проектное положение. Для ускорения процесса твердения бетона его прогревают теплым воздухом, который вырабатывает теплогенератор; теплый воздух подается в пространство между твердеющим бетоном и накрывающим его сверху теплоизоляционным полотнищем по системе распределительных воздуховодов.

Разметка монтажной площадки в плане производится в соответствии с разметочной схемой. На ней указано расположение анкеров, шлюзов, воздуходувной установки и других устройств, обеспечивающих монтаж надувной опалубки. Сборку каркасов, шлюзов и установку их на монтажной площадке можно производить параллельно с другими подготовительными работами. Аккуратно выполненная и точная разметка площадки намного сокращает сроки и облегчает проведение монтажных работ по возведению надувной пневматической опалубки.

Края оболочки подтягивают вплотную к линии закрепления и расправляют так, чтобы каждый анкер располагался против соответствующей ему петли, выреза или другого устройства на силовом поясе оболочки.

Крепление оболочки надувной опалубки к анкерному ленточному фундаменту осуществляется при помощи силового пояса, пришитого к краям оболочки по всему периметру крепления, стальных обвязочных труб и анкеров. В большинстве случаев силовой пояс представляет собой двухслойный тканевый рукав, в котором через равные промежутки имеются вырезы, соответствующие местам расположения анкеров на опорном контуре. Силовой пояс обеспечивает передачу анкерам через обвязочные трубы растягивающих усилий, возникающих в оболочке от избыточного давления.

По окончании монтажа оболочку наполняют воздухом до принятия ею проектного положения.

Чтобы избежать повреждения оболочки, ее желательно наполнять в безветренную погоду или при слабом ветре. В процессе наполнения оболочки заданного избыточного давления необходимо

тщательно следить за анкерровкой, не допуская рассоединения обвязочных труб и выхода из строя анкеров, так как это может вызвать повреждение конструкции оболочки надувной опалубки.

В состав комплекта воздухоопорных пневматических надувных опалубок входят: мягкая воздухонепроницаемая оболочка, каркасы и тенты шлюзов, анкеры, обвязочные трубы, воздуходувная установка, электротехнические устройства и измерительная аппаратура.

Преимуществами воздухоопорных конструкций пневматических надувных опалубок перед другими типами являются: относительно низкая стоимость; легкость и компактность; простота обслуживания; возможность перекрытия больших пролетов; несложность и кратковременность монтажа и демонтажа; повышенная стойкость к внешним нагрузкам; максимальная безопасность эксплуатации опалубки вследствие низкого избыточного рабочего давления нагнетания. К недостаткам конструкций этого вида относятся: необходимость постоянной (возможно автоматической) подкачки оболочки и опасность ее опускания в случае отключения воздуходувки «Monolithic Domes».

Уникальные монолитные здания, названные Monolithic Domes, американская компания строит уже почти сорок лет. Сегодня эти куполообразные сооружения можно увидеть в любом штате США, в Канаде, Европе, Азии, Африке, Южной Америке и Австралии. Необычная технология позволяет возводить здания любых размеров практически в любой климатической зоне. Универсальная форма монолитных куполов может быть приспособлена под частные дома, школы, спортивные залы, производственные цеха, церкви, склады и другие назначения.

Вначале строится железобетонное основание дома нужной формы. Затем на основании фиксируется и надувается прочный каркас Airform, который и определяет форму и размер монолитного купола. Изнутри устанавливаются специальные рамы по месту будущих окон и дверей, которые защищают каркас от бетонирования. На следующей стадии на каркас изнутри распыляется полиуретановая пена с прекрасными изоляционными характеристиками. После твердения изоляционного слоя устраивается металлический арматурный каркас, на который через специальное сопло набрызгивается бетонная смесь (шоткрит). Таким образом, удается быстро со-

здать монолитное здание куполообразной формы без дорогостоящих монтажных работ и традиционного бетонирования в опалубке.



Рисунок 1. Этапы возведения купольного сооружения

Monolithic Domes обладают всеми преимуществами монолитных зданий. Они не боятся огня, превосходно противостоят ураганам и землетрясениям, предохраняют дом от проникновения грызунов и термитов. Но у этих бетонных зданий имеются особые достоинства, которых нет у монолитных строений традиционной формы. Уникальная куполообразная конструкция позволяет сэкономить 50% энергопотребления на отопление или кондиционирование зданий.

Вкупе с легкостью эксплуатации и долговечностью конструкции Monolithic Domes представляют прекрасную альтернативу традиционному дому для проживания в любой местности, включая труднодоступные для традиционного строительства ландшафты. На основе универсальной купольной технологии можно строить дома различного дизайна, а также садовые домики, дачные кабинеты, гаражи и даже беседки

Одно из наиболее красивых монолитных зданий по технологии Monolithic Domes – резиденция Garlock в Колорадо, построенная в 2008 году (см. рис. 2). Для строительства использованы два купола разного размера: диаметром 15,2м для жилого дома и диаметром 9,8м - для гаража. Гараж расположен на 2,7м выше дома на склоне холма, и увязан в общий ансамбль с главной конструкцией. Рядом с воротами в гараж располагается калитка, ведущая к боковому входу в резиденцию.



Рисунок 2. Резиденция Garlock в Колорадо.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. [www.grantsroy.com/index](http://www.grantsroy.com/index).
2. [www.fips.ru](http://www.fips.ru)
3. [www.alldomes.ru](http://www.alldomes.ru)
4. [www.betony.ru](http://www.betony.ru)
5. Зигель К. Структура и форма в современной архитектуре. Пер. с нем. – М.: 1982. – 134 с.
6. Журнал "Chalets & Maisons Bois" (Франция).