

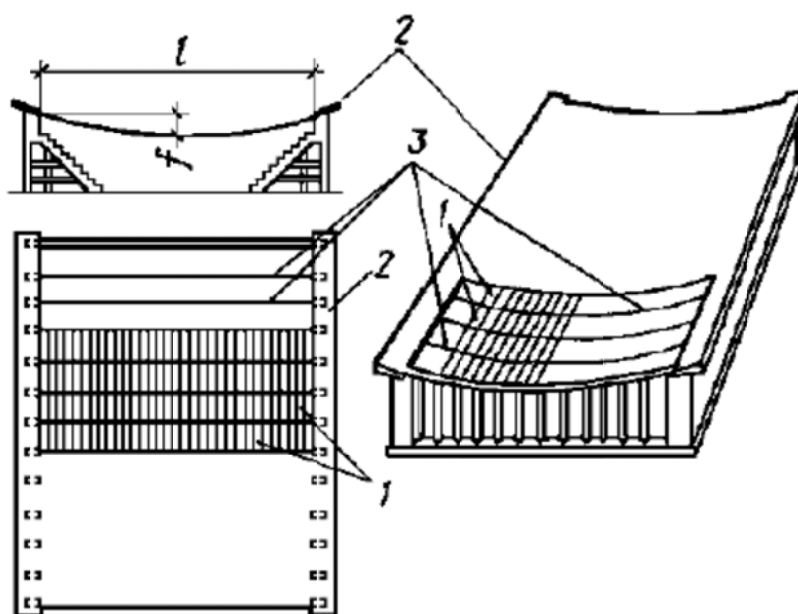
ВИСЯЧИЕ ОБОЛОЧКИ

Основные положения

Висячей железобетонной оболочкой называется оболочка, в которой роль основной рабочей арматуры выполняют ванты.

Висячие оболочки применяются в покрытиях зданий промышленного, сельскохозяйственного и культурно-бытового назначения (цехи, склады, навесы, шамбассейны, сгустители, резервуары, помещения для содержания скота, овощехранилища, крытые стадионы, спортзалы, крытые катки и плавательные бассейны, выставочные залы и павильоны, кинотеатры, крытые рынки и т. п.), в том числе зданий и помещений с подвесным транспортом.

Висячие оболочки проектируют различного очертания в плане (рис. 13.1 — 13.5) и могут быть образованы на основе вантовых систем: а) параллельных (рис. 13.1); б) радиальных (радиально-вантовые сети), рис. 13.2, 13.3;



1 — плиты, 2 — опорный контур, 3 — ванты.

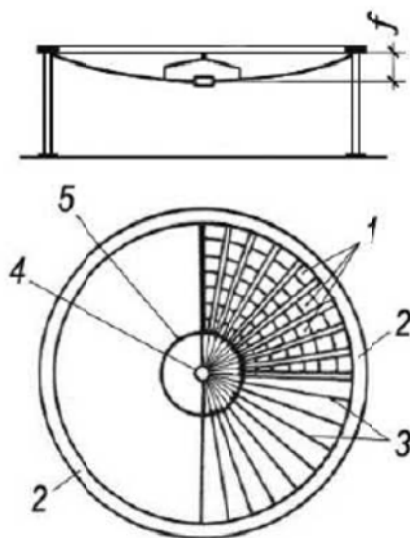
Рисунок 13.1. Висячая оболочка с параллельной системой вант

в) перекрестных (перекрестные вантовые сети, в том числе ортогональные), расположенных на поверхности положительной или отрицательной гауссовой кривизны, с несущими (провисающими) и натягивающими (вспарушенными) вантами (рис. 13.4);

г) полигональных (рис 13.5).

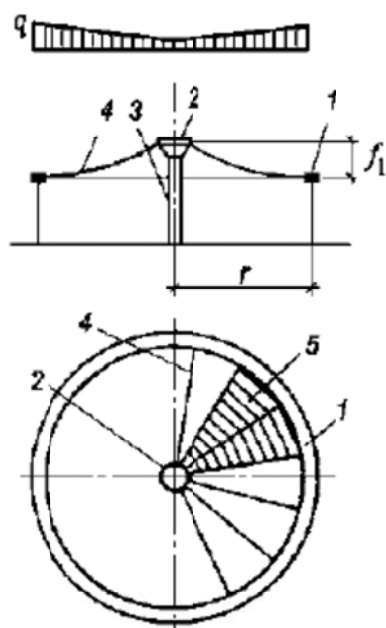
Стрелу провисания вант при расчетной нагрузке рекомендуется назначать в пределах $1/15—1/30$ их пролета с учетом архитектурных, конструктивных и технико-экономических соображений.

Висячие оболочки выполняют, как правило, сборно-монолитными, значительно реже монолитными - в частности, с использованием метода торкретирования. В сборно-монолитных оболочках, в зависимости от очертания опорного контура и принятой системы вант, плиты покрытия проектируют прямоугольной, трапециевидной или треугольной формы. При проектировании рекомендуется предусматривать монтаж висячих оболочек без устройства лесов и подмостей. Ограждающие элементы в процессе монтажа укладывают на ванты, закрепленные в опорном контуре. Положение вант перед укладкой плит и в процессе монтажа определяет форму оболочки и должно соответствовать проекту, что достигается регулированием длины вант.



1 - плиты; 2 - опорный контур; 3 - ванты; 4 - центральное кольцо;
5 - опорное кольцо фонаря.

Рисунок 13.2. Висячая оболочка положительной гауссовой кривизны (вогнутая) с радиальной системой вант



1 - опорный контур; 2 - растянутое кольцо; 3 - центральная опора; 4 - ванты; 5 - плиты

Рисунок. 13.3. Шатровая висячая оболочка

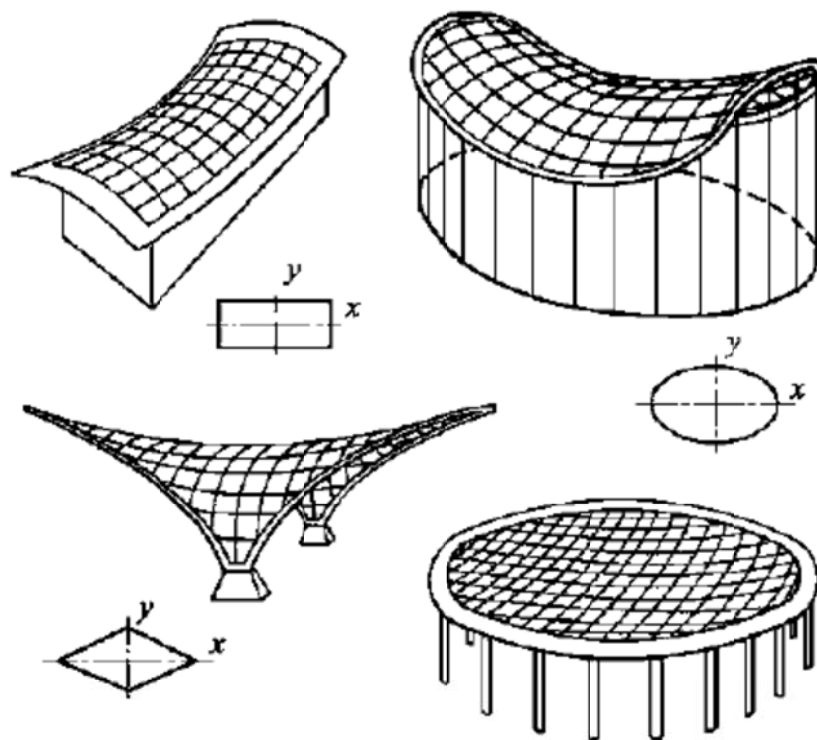
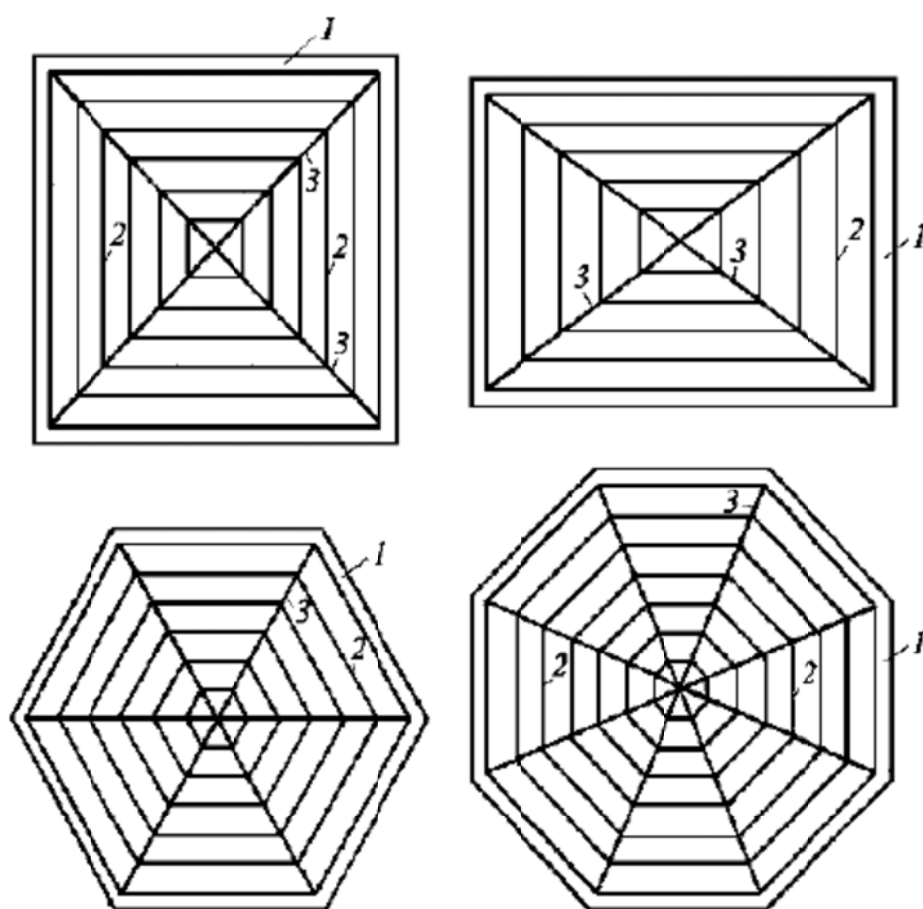


Рисунок 13.4. Висячие оболочки с перекрестной системой вант



1 — опорный контур; 2 — контурные ванты; 3 — угловые ванты

Рисунок 13.5. Конструктивные схемы полигонально-вантовых систем

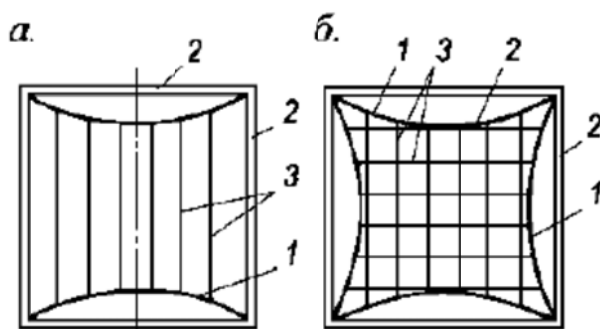
Висячие оболочки, как правило, имеют замкнутый, в основном работающий на сжатие опорный контур, воспринимающий распор вант и передающий на поддерживающие конструкции только вертикальные нагрузки.

Опорный контур выполняют в виде кольца (круглого, эллиптического или овального) или многоугольника. Ось опорного контура очерчивают по гладкой плоской или пространственной кривой или принимают из нескольких отрезков прямых, плоских и пространственных кривых. Криволинейный опорный контур допускается заменять вписанным или описанным полигональным.

На стадии монтажа до замоноличивания швов между плитами, когда конструкция представляет собой вантовую систему, необходимо предусматривать меры для уменьшения величины изгибающих моментов в контуре, стремясь к тому, чтобы он был условно безмоментным при основном виде монтажной нагрузки и испытывал незначительные изгибающие моменты при остальных комбинациях монтажных нагрузок. Для этого очертание оси контура следует принимать близким к кривой давления от распора вантовой сети, а последовательность натяжения вант определять расчетом.

Депланированный (неплоский) опорный контур с отклонением от плоскости не более $1/20$ наименьшего размера перекрываемого пролета допускается рассчитывать как плоский опорный контур.

Для устранения или уменьшения изгибающих моментов в элементах опорного контура оболочек с прямоугольным планом допускается использовать тросы-подборы (рис. 13.6), передающие усилия от вант в углы контура.



а — система параллельных вант; *б* — ортогональная вантовая сеть; 1 — тросы-подборы; 2 — сжатые элементы опорного контура; 3 — ванты.

Рисунок 13.6. Использование тросов-подборов в висячих оболочках на прямоугольном плане

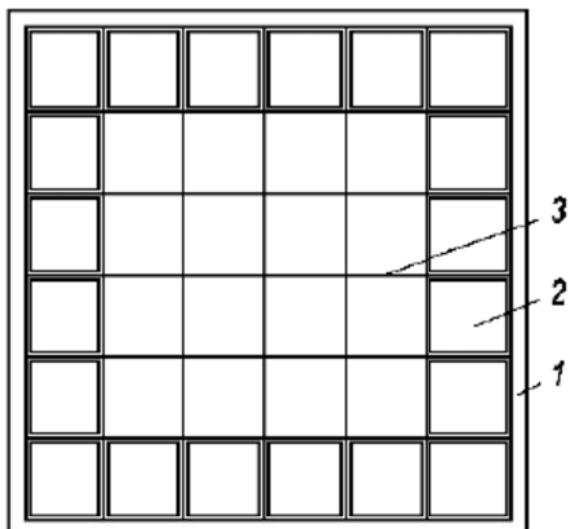
При проектировании оболочек без тросов-подборов рекомендуется на стадии монтажа предусматривать усиление опорного контура приконтурным рядом плит. Для этого плиты соединяют с контуром, с вантами и между собой, образуя на этой стадии монтажа жесткую замкнутую раму (рис. 13.7), которая воспринимает изгибающие моменты от последующих нагрузок. Поперечное сечение опорного контура назначают из условия его работы в составе оболочки и восприятия изгибающих моментов, возникающих при монтаже первого ряда плит.

Опорный контур висячих оболочек рекомендуется проектировать из сборного или сборно-монолитного железобетона. Допускается применение только монолитного железобетона. Для облегчения сборные элементы опорного контура могут предусматриваться корытообразного сечения. После монтажа полость корытообразных элементов заполняют бетоном.

Шаг вант и размеры плит следует назначать с учетом шага опор по контуру, членения сборных элементов опорного контура и расположения сосредоточенных нагрузок.

В перпендикулярных вантам швах оболочек с параллельно расположенными вантами и в кольцевых швах оболочек с радиальными вантами следует устанавливать конструктивную

арматуру, общая площадь поперечного сечения которой принимается не менее 15% площади поперечного сечения вант. В качестве такой конструктивной арматуры рекомендуется использовать и арматуру, с помощью которой плиты крепятся к вантам.



1 — опорный контур; 2 — плита; 3 — ванты

Рисунок 13.7. Опорный контур, усиленный приконтурным рядом плит

Для несущих элементов висячих покрытий в качестве рабочей следует

применять:

- стержневую горячекатаную арматурную сталь классов А500 и выше;
- канаты одинарной свивки по ГОСТ 3062—80*; 3063—80*; 3064—80*;
- канаты двойной свивки по ГОСТ 3066—80*, 3067—88*, 3068—88*, 3081—80*, 7669—80*, 14954-80*;
- канаты одинарной свивки по ГОСТ 3064-84 из круглой оцинкованной по группе ЖС проволоки диаметром 2,6 мм и более;
- канаты закрытые несущие по ГОСТ 3090—73*, 7675—73*, 7676—73*, 18901—73*;
- пучки и пряди параллельных проволок, формируемых из канатной проволоки, удовлетворяющей требованиям ГОСТ 7372—79*, и параллельно уложенных оцинкованных проволок по ГОСТ 3617-71.

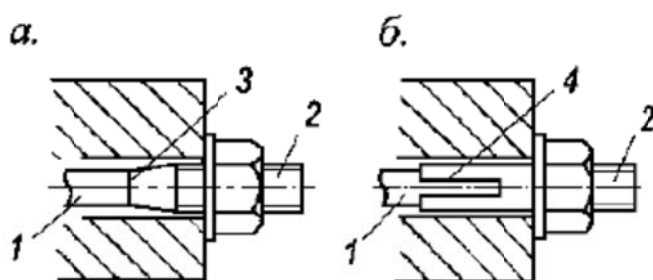
Стальные канаты должны быть подвергнуты предварительной вытяжке усилием, равным половине установленного государственным стандартом или техническими условиями разрывного усилия каната в целом, (а если оно не нормировано – половине агрегатной прочности витого каната).

Рекомендуется применять оцинкованные канаты с максимальным шагом свивки и линейным касанием проволок. Применение канатов, пучков и прядей из проволоки диаметром менее 2,5 мм не рекомендуется.

При назначении расчетного сопротивления стального витого каната с металлическим сердечником учитывают значение разрывного усилия каната в целом, установленное государственным стандартом или техническими условиями на канаты, (а если оно не нормировано – агрегатной прочности витого каната) и коэффициент надежности $\gamma_m = 1,6$. Модуль упругости

пучков и канатов из параллельно уложенных проволок следует принимать равным $2,01 \times 10^5$ МПа. Расчетные сопротивления и модули упругости стержневой арматурной стали всех классов и арматурной проволоки классов А и В, арматурных канатов класса К принимают в соответствии с указаниями СП 63.13330. Коэффициент условий работы вант принимается $\gamma_c = 0,9$ для всех видов арматурных изделий диаметром до 40 мм и $\gamma_c = 0,85$ для стальных канатов диаметром свыше 40 мм.

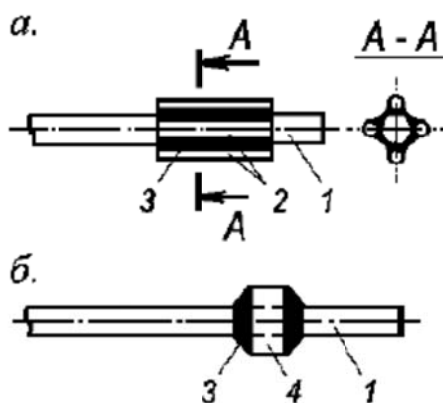
В опорных конструкциях ванты закрепляют при помощи анкерных устройств, обеспечивающих возможность регулировки длины вант во время монтажа и предварительного напряжения. Для вант из стержневой стали в качестве регулируемых анкерных устройств рекомендуется применять хвостовики и втулки с резьбой, соединяемые с вантами сваркой (рис. 13.8). Конструкция анкера не должна снижать несущей способности вант. Для вант из горячекатаных арматурных сталей при соединении стержней и присоединении к ним хвостовиков из равнопрочного металла рекомендуется применять контактную стыковую сварку. Ванты из стержневой стали с перегибами проектировать не рекомендуется. Для вант из стальных канатов рекомендуется применять гильзочные анкера (рис. 13.10) или анкера, заливаемые сплавами.



1 — ванта; 2 — хвостовик; 3 — контактная сварка; 4 — то же, дуговая.

Рисунок 13.8. Анкеры вант из стержневой стали, регулируемые с помощью хвостовиков из стали:

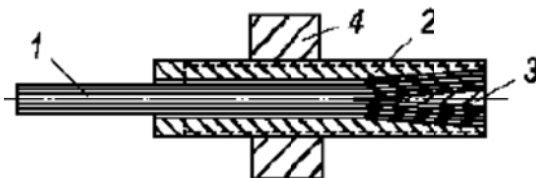
а — с расчетным сопротивлением, равным расчетному сопротивлению материала вант;
б — с расчетным сопротивлением, меньшим расчетного сопротивления материала вант.



1 — ванта; 2 — коротыши; 3 — сварка; 4 — шайба.

Рисунок 13.9. Нерегулируемые анкеры вант из стержневой стали, выполняемые с помощью приваренных элементов:

а — коротышей; *б* — шайбы.



1 — ванта; 2 — гильза; 3 — клин; 4 — опорная гайка.

Рисунок 13.10. Гильзоклиновой анкер для вант из высокопрочной проволоки и стальных канатов

Ванты из стержневой арматурной стали должны, как правило, располагаться внутри бетона и иметь защитный слой толщиной не менее 25 мм. Для этого оболочка в большинстве случаев должна быть ребристой. При этом ребра могут входить в состав плит покрытий или конструироваться в виде отдельных элементов, подвешенных к вантам. Как ребристые, так и гладкие плиты рекомендуется предусматривать из легкого бетона с укладкой по ним эффективного утеплителя.

Для защиты вант из высокопрочной стали от коррозии рекомендуется применять преимущественно оцинкованные канаты. Ванты также могут быть пропущены внутри трубок, заполняемых после натяжения вант цементным раствором под давлением или специальными антикоррозионными составами.

Предварительное напряжение висячих оболочек рекомендуется осуществлять домкратами, с помощью пригрузки (временной нагрузкой или вертикальными оттяжками), с помощью укладки в швы между плитами бетона на натягающем цементе. Величину предварительного напряжения назначают с учетом потерь напряжения. При использовании натягающего цемента ширину швов между плитами и их армирование назначают из условия достижения необходимой величины самоупругивания. При предварительном натяжении с помощью домкратов замоноличивание кольцевых стыков между плитами предусматривают до натяжения вант – с пропусками в местах, препятствующих натяжению вант. При предварительном натяжении с помощью пригрузки, укладываемой на плиты, подвешиваемой к вантам или создаваемой оттяжками, закрепленными в нижележащих конструкциях, стыки между плитами замоноличивают.

При проектировании висячих оболочек отрицательной гауссовой кривизны, предварительное напряжение которых осуществляется с помощью пригрузки, вызывающей уменьшение усилий в натягаемых вантах, рекомендуется следующий порядок проведения работ:

- а) укладка и закрепление плит покрытия на смонтированной и выверенной вантовой сети;
- б) пригрузка покрытия;
- в) замоноличивание швов, располагаемых нормально к несущим вантам, т. е. кольцевых швов в шатровых покрытиях и швов, расположенных вдоль стабилизирующих вант, в седловидных покрытиях;
- г) освобождение покрытия от временной нагрузки после набора бетоном в швах необходимой прочности;
- д) замоноличивание всех остальных швов.

Для уменьшения крайних изгибающих моментов замоноличивание швов, расположенных между опорным контуром и крайними плитами, рекомендуется производить в последнюю очередь. Для замоноличивания этих швов рекомендуется использовать бетон на расширяющемся или натягающем цементе.

В пределах площади плит допускается предусматривать проемы, но при условии обеспечения их несущей способности в процессе монтажа. В плитах, примыкающих к контуру, не рекомендуется устраивать проемы, уменьшающие сечение плиты более чем на 50%.

Рекомендации по расчету

Усилия и деформации в висячих оболочках рекомендуется определять расчетом методом конечных элементов с учетом геометрической и физической нелинейности. Допускается усилия в элементах висячего покрытия в монтажной стадии определять в линейной постановке в соответствии с рекомендациями действующих норм. Расчет стальных деталей и элементов, входящих в состав висячего покрытия и работающих в процессе монтажа или эксплуатации без учета окружающего бетона, следует производить по указаниям СП 16.13330. При определении расчетных усилий в опорном контуре и вантах предварительно напрягаемых конструкций необходимо учитывать усилия, возникающие в процессе монтажа конструкции и зависящие от принятого в проекте способа ее предварительного напряжения.

Конструирование

Конструирование оболочек с радиальной и перекрестной системами вант

При выборе системы вант следует учитывать, что по расходу арматуры на оболочку в целом, а также по расходу бетона на опорный контур оболочки с радиальной системой вант экономичнее оболочек, имеющих перекрестную систему вант.

Для радиальной вантовой системы оптимальным является круговое очертание опорного контура (частный случай эллипса), позволяющее унифицировать элементы оболочки и обеспечить работу контура на любой стадии монтажа. Для этого плиты оболочки необходимо монтировать кольцами, т. е. перед укладкой очередного ряда плит (кольца) все предыдущие должны быть закончены (замкнуты).

Оболочки с радиальной системой вант эллиптического очертания в плане рекомендуется проектировать с внутренним кольцом в форме эллипса, подобного наружному.

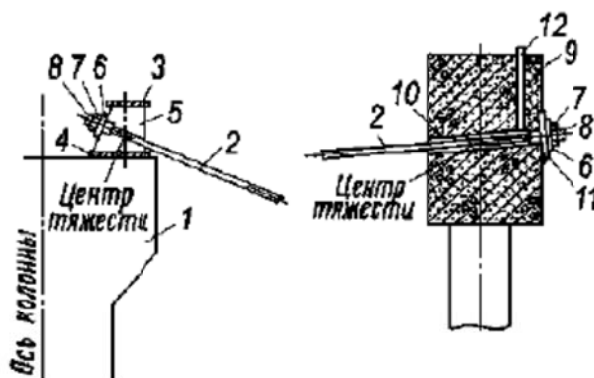
Минимальный периметр внутреннего кольца определяют из условия размещения в нем анкеров вант. Конструкция кольца должна обеспечивать его жесткость в горизонтальной плоскости при монтаже вант и плит.

Центральную опору шатровых оболочек рекомендуется проектировать железобетонной с круглым поперечным сечением из высокопрочных бетонов или трубобетонной.

Закрепление вант в контуре допускается проектировать как с упором в опорную плиту на наружной грани контура, так и соединением с выпусками на его внутренней стороне. Для закрепления вант с упором на контуре в контурном кольце предусматривают закладные трубки диаметром, достаточным для пропуска анкерных устройств вант. Угол наклона трубок к горизонту следует принимать равным наклону касательной к поверхности покрытия у контура при расчетной равномерной нагрузке. Закрепление вант в опорном контуре и внутреннем кольце следует проектировать таким образом, чтобы линия действия усилия в ванте проходила через центр тяжести поперечного сечения (рис. 13.15). В противном случае необходимо учитывать возникающие вследствие отсутствия центровки крутящие и изгибающие моменты.

Опорную плиту под анкер проектируют перпендикулярно к оси закладной трубки или под углом с установкой под анкер клиновидных шайб. Размеры опорных плит принимают на основании расчета на местное сжатие. В необходимых случаях предусматривают местное упрочнение контура под плитой путем установки косвенной арматуры. Для защиты вант от коррозии после окончания их регулировки и замоноличивания швов между плитами следует предусматривать возможность заполнения полости анкерных закладных трубок цементным раствором через патрубков,

выведенный на верхнюю или боковую поверхность контура (рис. 13.15). Анкеры вант должны быть защищены от коррозии.

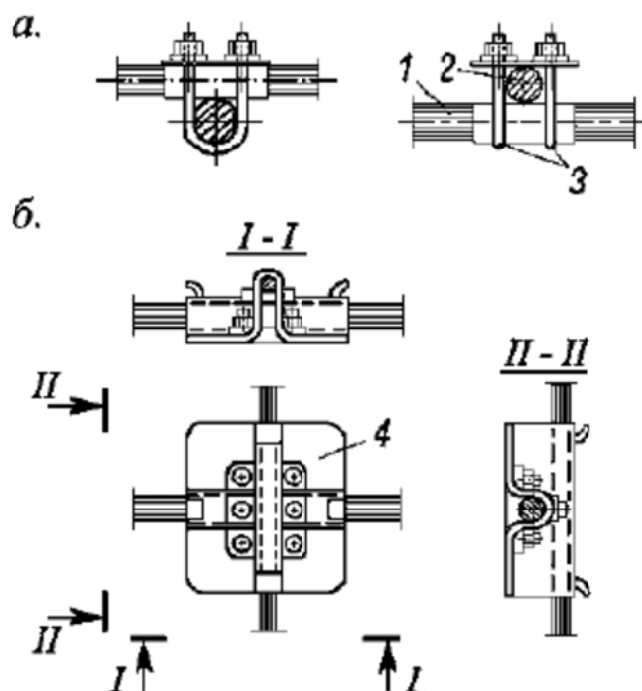


- 1 — центральная колонна; 2 — ванта; 3 — верхний пояс центрального кольца;
4 — нижний пояс центрального кольца; 5 — соединительные упорные планки;
6 — шайба; 7 — гайка; 8 — хвостовик; 9 — опорный контур; 10 — закладная трубка для пропуска ванты; 11 — закладная деталь, распределяющая нагрузку от ванты;
12 — патрубок для инъекции раствора

Рисунок 13.15. Крепление вант к опорному контуру и центральному кольцу

Конструкция узлов пересечения вант должна обеспечить совместную работу вант в нормальном, а в необходимых случаях и в тангенциальном направлениях к поверхности покрытия. В местах пересечения вант следует предусматривать специальные хомуты или штампованные косынки (рис. 13.16), используемые также для опирания плит. В конструкциях деталей, изменяющих направление стального каната или проволоки в канате (анкерных устройств), а также обжимающих канат (сжимов, хомутов подвесок и т.п.) следует применять желоба криволинейного поперечного сечения со скруглениями у торцов (в месте выхода каната) и укороченными (по сравнению с основанием) прижимными накладками, прокладками из алюминия или другого мягкого материала. Для исключения электрохимической коррозии контактирующие с алюминием стальные канаты и стальные детали должны быть защищены покрытиями из кадмия или цинка толщиной не менее 20 мкм.

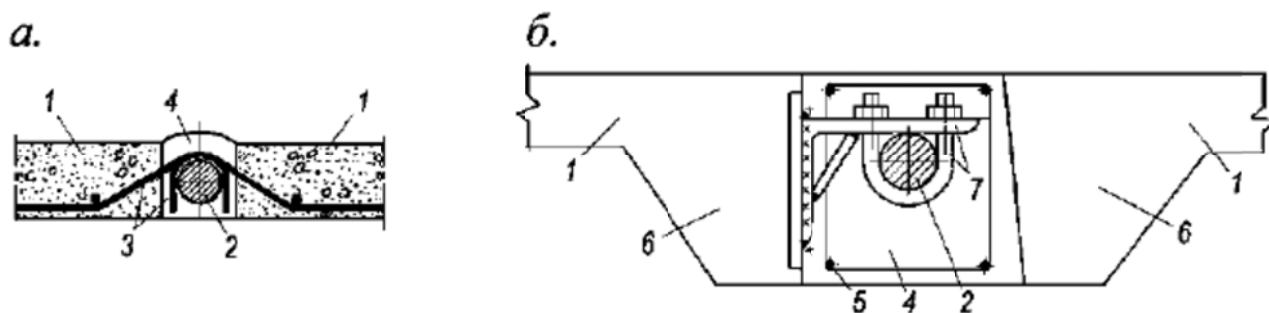
Сборные плиты подвешивают к вантам с использованием выпусков рабочей арматуры, стальных крюков, привариваемых к арматуре плит и изготовленных из арматуры класса А240, или других специальных приспособлений. При подвеске в четырех точках каждый крюк рассчитывают на действие $1/3$ нагрузки, приходящейся на плиту (рис. 13.17).



1 — несущая ванта; 2 — натягающая ванта; 3 — хомут; 4 — косынка.

Рисунок 13.16. Узлы пересечения вант:

a — с применением хомутов; *б* — то же, штампованных стальных косынок.



a — плоская плита; *б* — ребристая плита

1 — железобетонная плита; 2 — ванта; 3 — крюки; 4 — бетон шва; 5 — армирование шва;
6 — ребро плиты; 7 — детали крепления плит к вантам.

Рисунок 13.17. Крепление плит к вантам

Конструирование оболочек с полигональной системой вант

Висячие оболочки полигонально-вантового типа применяют для покрытий с многоугольным планом (см. рис. 13.5), как правило - в зданиях с квадратным и прямоугольным планами. При применении такой вантовой системы для зданий с произвольным полигональным планом предусматривают такое расположение несущих вант, при котором все усилия передаются только на углы опорного контура.

Несущая система покрытия (см. рис. 13.5) состоит из контурных и угловых вант. В горизонтальной проекции контурные ванты расположены параллельно сторонам опорного контура и образуют полигональные гибкие контуры. Угол каждого гибкого контура соединен угловой вантой с соответствующим углом опорного контура. Угловые ванты располагаются по биссектрисам углов опорного контура (при прямоугольном плане — по диагоналям). Помимо основных, допускается применение дополнительных угловых вант, проходящих непрерывно от угла к углу сооружения под основными угловыми вантами. Дополнительные угловые ванты рекомендуется применять в тех случаях, когда требуется уменьшить стрелу провиса центра покрытия по отношению к углам

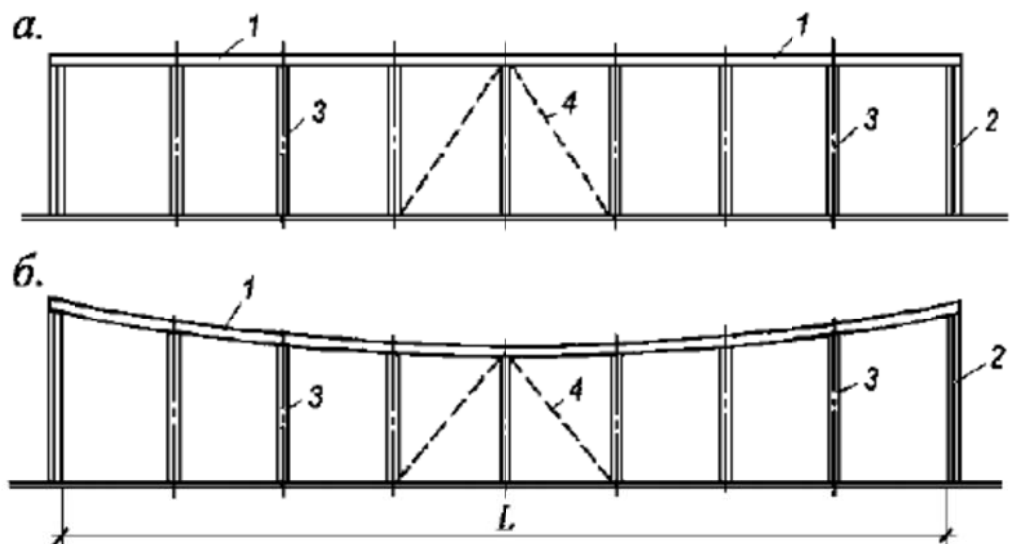
сооружения - для увеличения уклона кровли по направлению к опорному контуру. Контурные и угловые ванты имеют на концах стальные анкерные детали, предназначенные для соединения вант между собой и для их крепления в углах сооружения. Ванты могут быть одиночными или двойными, состоящими из одного или двух расположенных близко канатов, стальных арматурных стержней или других гибких элементов. Величины стрелок провиса контурных вант рекомендуется принимать из условия, чтобы уклоны покрытия для организации водоотвода с покрытия имели направления к сторонам опорного контура. При этом величины стрелок провиса контурных вант назначают таким образом, чтобы величины их распоров были одинаковыми.

При проектировании вант (рис. 13.18) рекомендуется принимать следующее их расположение в вертикальной плоскости: диагональные — в нижнем ярусе, угловые центрального гибкого контура — во втором ярусе, угловые следующего (от центра) контура — в третьем и т. д. Контурные ванты опирают сверху на систему проходящих ниже двойных угловых вант. Допускается обратный порядок расположения угловых вант, при котором узлы сопряжения подвешиваются снизу к проходящей над ними системе угловых вант. Конструкция узлов сопряжения контурных вант с угловыми должна обеспечивать свободу поворота концевых сечений контурных вант в вертикальной плоскости. Узлы проектируют с применением болтов, сварки или стальных отливок (на основе принципа работы цилиндрических или листовых шарниров), как правило, с устройством для регулировки длины вант.



Рисунок 13.18. Расположение угловых вант полигонально-вантовой системы в вертикальной плоскости

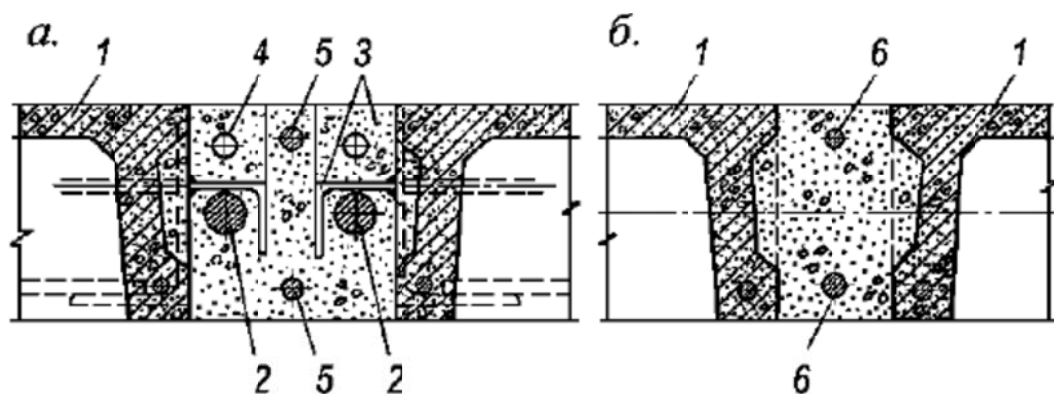
Опорный контур и каркас здания выполняют из сборного, сборно-монолитного или монолитного железобетона. Опорный контур поддерживается колоннами, расположенными по периметру здания, как правило - с шагом 6 м. Для обеспечения возможности монтажа вантовой системы на полу и ее подъема путем перемещения анкерных устройств сети по направляющим элементам колонн угловые колонны рекомендуется выполнять двойными. Опорный контур проектируют в виде горизонтального или полигонального ригеля, связанного с колоннами (рис. 13.19) и образующего вместе с ними многопролетную раму, в среднем пролете которой предусматривают вертикальные связи, обеспечивающие устойчивость каркаса здания. Плиты для оболочки рекомендуется выполнять без предварительного напряжения арматуры, из легкого бетона класса В25 и выше. Узел опирания плит на двойные ванты приведен на рис. 13.20. В швах между плитами устанавливают конструктивную, а в продольных швах оболочки — расчетную арматуру. Для обеспечения трещиностойкости оболочки в стадии эксплуатации или для уменьшения ширины раскрытия трещин до замоноличивания швов предусматривается предварительное напряжение вантовой сети при помощи пригрузки или другим способом. Допускается применение оболочек без предварительного напряжения при надлежащем обосновании расчетом и защите вант от коррозии. Швы между плитами рекомендуется заполнять бетоном того же класса на сжатие, что и бетон плит. Для обеспечения устойчивости опорного контура оболочек с полигональной системой вант его поперечное сечение должно быть развито в горизонтальной плоскости.



1 — опорный контур; 2 — угловые (двойные) колонны; 3 — промежуточные колонны; 4 — вертикальные связи.

Рисунок 13.19. Конструктивные схемы опорного контура полигонально-вантового покрытия в вертикальной плоскости:

а — с горизонтальным контуром; *б* — с полигональным контуром.



а — узел опирания железобетонных плит на контурные ванты; *б* — поперечное сечение продольного ребра оболочки (балки); 1 — железобетонные ребристые плиты;

2 — контурные ванты; 3 — крюк жесткой конструкции; 4 — отверстие для строповки плит; 5 — дополнительная арматура в поперечных швах оболочки; 6 — рабочая арматура продольных ребер (балок)

Рисунок 13.20. Конструктивное решение основных узлов висячей оболочки полигонально-вантового типа

Конструкция опорного узла висячей системы должна обеспечивать возможность монтажа вантовой сети до замоноличивания стыков опорного контура. В углах контура рекомендуется предусматривать зазоры для прохода системы угловых вант, заанкеренных в специальном анкерном устройстве. Для восприятия усилия сжатия в углах опорного контура от собственного веса вантовой сети в зазорах следует предусматривать монтажные стальные распорки. После монтажа вантовой сети зазоры в углах опорного контура следует замонолитить бетоном того же класса, что и бетон ригелей опорного контура.