

ЛЕКЦИЯ 4

Конструкции покрытий висячего типа

4.1. Общая характеристика висячих покрытий

Висячие покрытия – покрытия, в которых основные несущие конструкции, перекрывающие пролет, работают на растяжение.

Несущие элементы:

– гибкие нити, воспринимающие только растягивающие усилия, называемые вантами и выполняются из стальных канатов;

– жесткие нити, воспринимающие растяжение и изгиб, состоят их прокатных элементов (швеллеров или двутавров);

– мембраны – тонкие листовые оболочки, толщиной 2...5 мм;

– фермы, которые подвешиваются на гибких нитях.

Основные виды висячих покрытий:

1. Однопоясные системы.

2. Двухпоясные системы, в том числе вантовые фермы.

3. Вантовые сети – однопоясные системы с канатами, расположенными в пересекающихся направлениях.

4. Мембранные покрытия.

5. Комбинированные покрытия



Рис. 4.1. Крытая спортивная арена на 2900 зрителей в Нью-Хавене штат Коннектикут США (здание перекрыто параболической аркой пролетом 79м с консолями по 12 м, к которой крепится вантовая конструкция из сетки стальных тросов)



Рис. 4.2. Крытая спортивная арена на 2900 зрителей в Нью-Хавене штат Коннектикут США (внутри арены)

4.2. Однопоясные покрытия

Однопоясные покрытия могут быть:

- на прямоугольном;
- на круглом плане.

На прямоугольном плане устраивают висячие покрытия с параллельным расположением вант, которые состоят из:

- несущих нитей, размещаемых с шагом 1,5...3 м;
- железобетонным балки, образующим опорный контур.

Провисание нити f составляет $1/10...1/30$ пролета l .

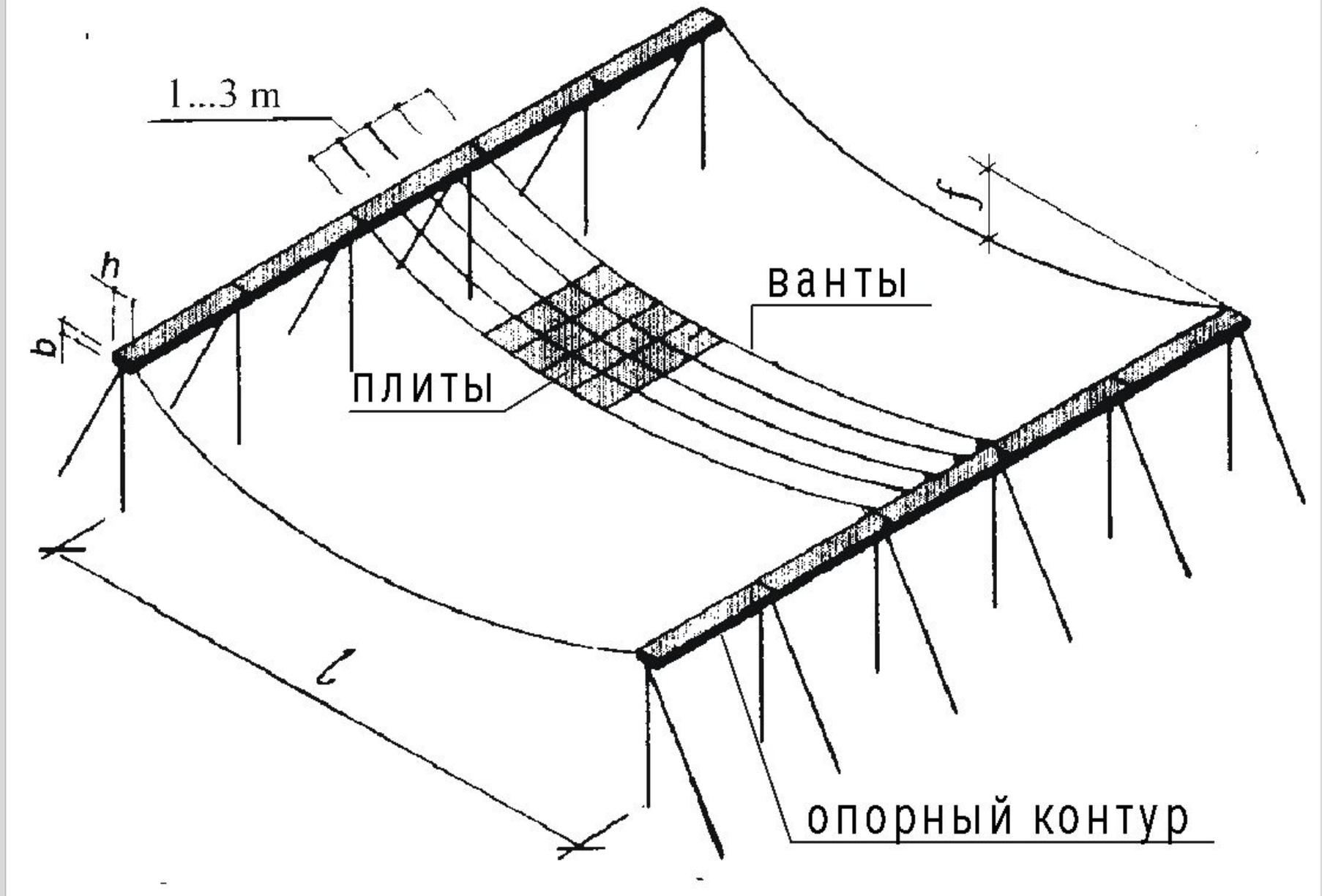


Рис. 4.3. Схема однопоясного покрытия прямоугольного в плане

Для передачи распора с опорного контура на основание используют различные **опорные конструкции**:

- стойка с оттяжкой;
- консольные колонны;
- пилоны;
- рамы;
- балки с жесткими боковыми диафрагмами.

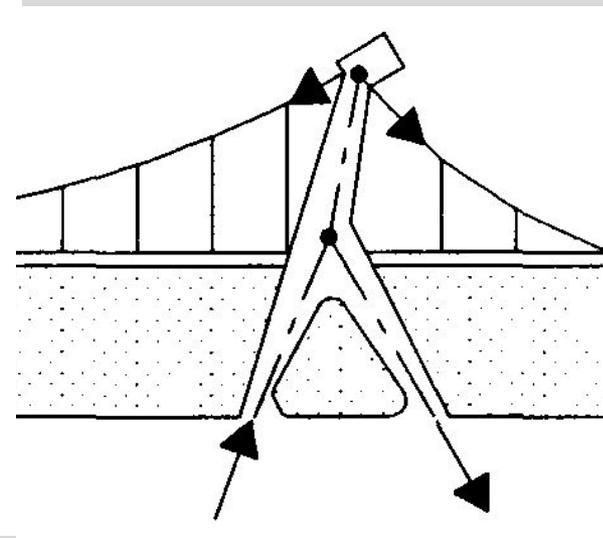
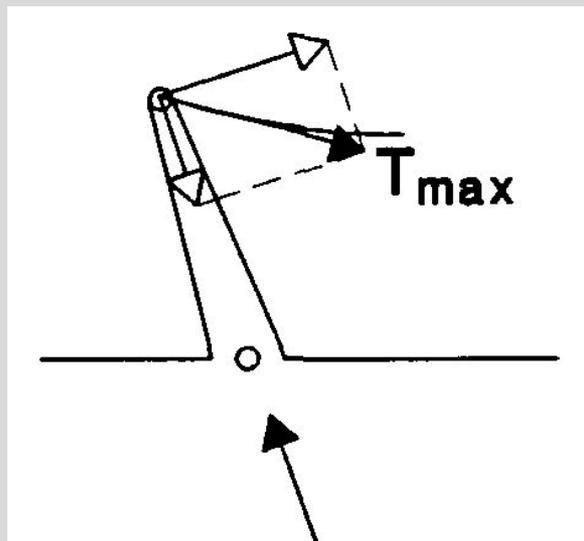
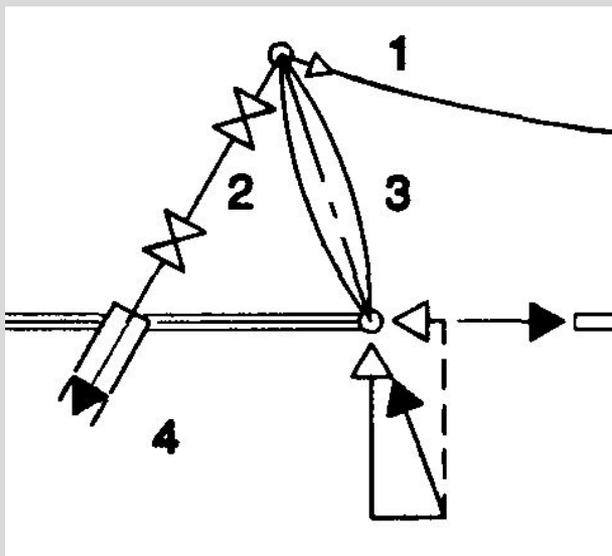


Рис. 4.4. Схемы опорных конструкций: 1 – вант; 2 – оттяжка; 3 – стойка;
4 – анкер

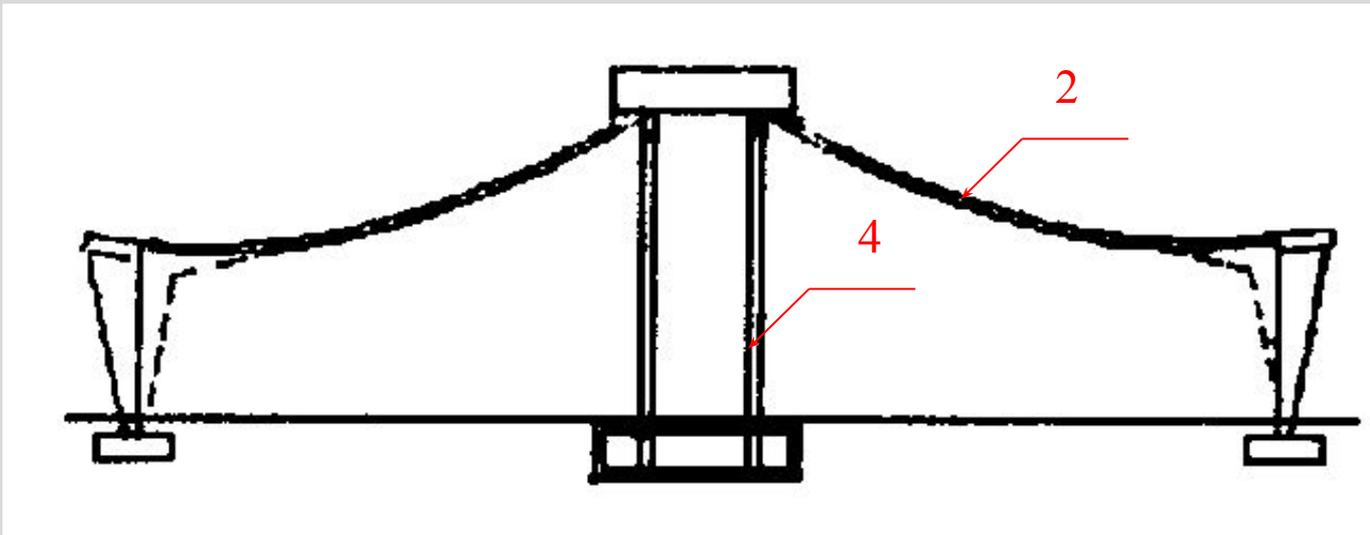
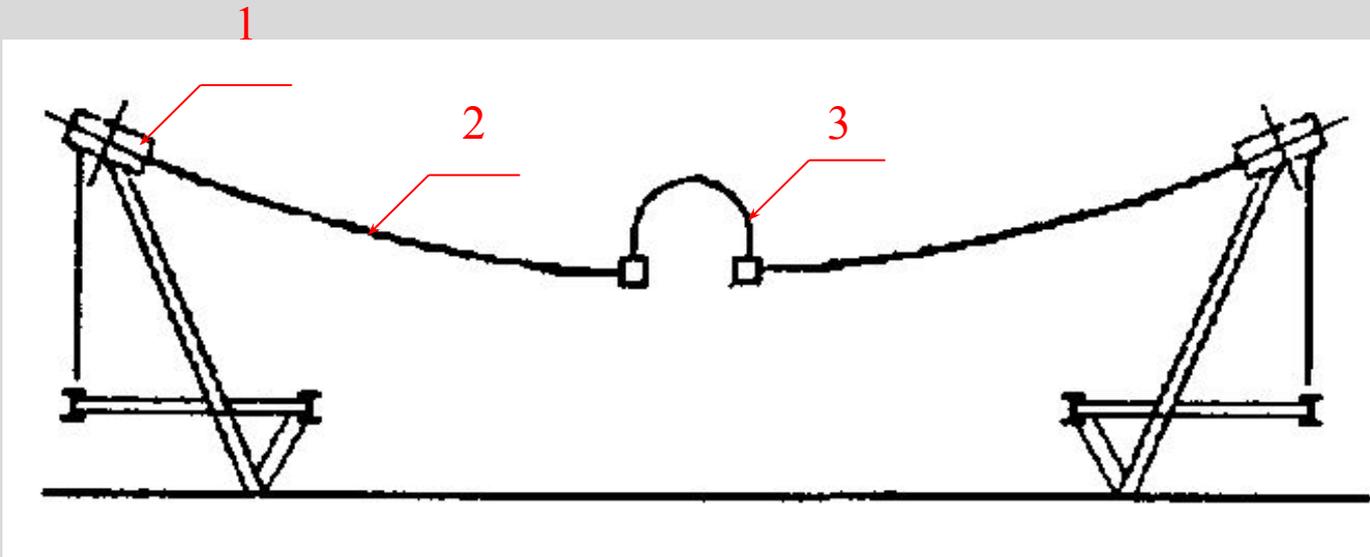


Рис. 4.5. Схемы покрытий зданий круглых в плане:

1 – опорный контур; 2 – ванты; 3 – внутреннее кольцо; 4 – центральная стойка

Основные способы стабилизации однопоясных систем:

1. Устройство покрытия из тяжелых железобетонных плит. Благодаря этому изменение формы равновесия при временных нагрузках оказывается незначительным, однако резко увеличиваются нагрузки на опорный контур.

2. Предварительное натяжение нитей. Для этого перед замоноличиванием стыков плиты пригружаются балластом, под действием которого нити удлиняются и швы расширяются. Затем швы замоноличивают и снимают балласт. Нити укорачиваются и обжимают плиты. Для обеспечения жесткости покрытия нагрузка от балласта должна быть больше временной нагрузки.

3. Уменьшение стрелы провеса несущих нитей

4. Использование жестких нитей, которые имеют большую изгибную жесткость.

4.3. Двухпоясные покрытия

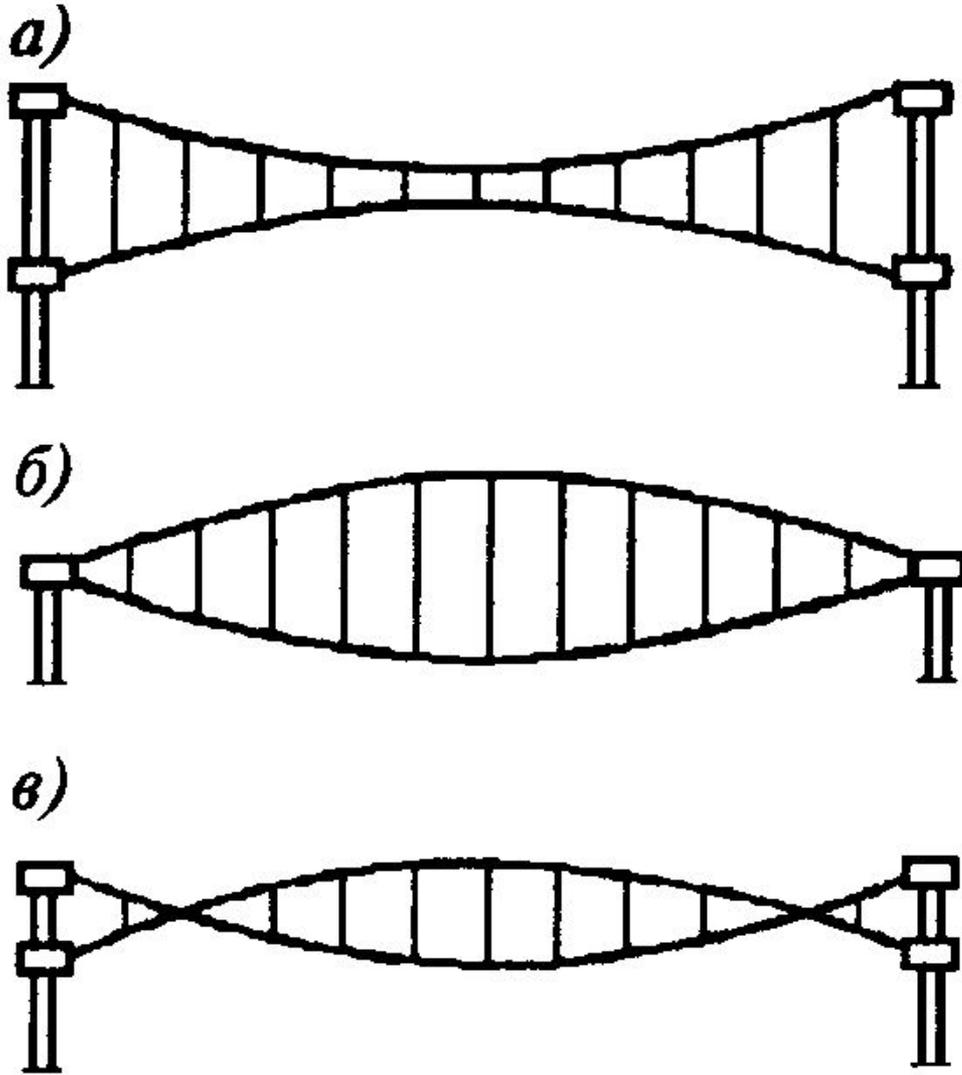


Рис. 4.6. Схемы двухпоясных систем

Двухпоясными называют системы покрытий, состоящие из двух систем нитей, расположенных параллельно или радиально.

Вантовая ферма является двухпоясной системой, у которой решетка имеет зигзагообразный вид.

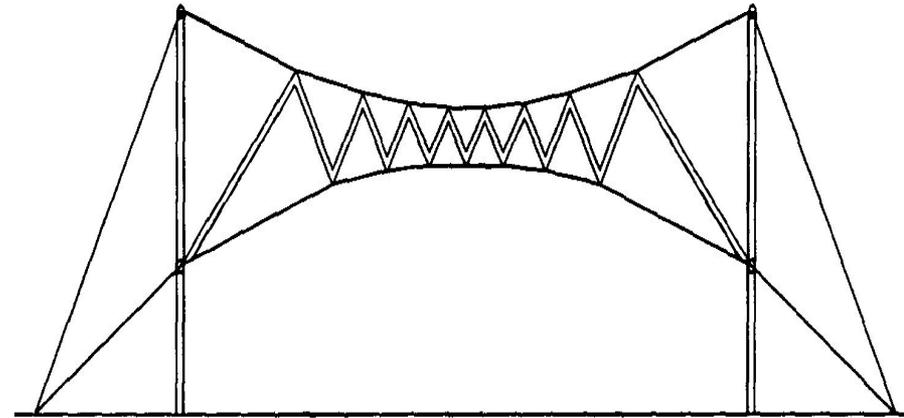


Рис. 4.7. Вантовая ферма

4.4. Вантовые сети

Вантовые сети представляют собой систему взаимно перпендикулярных нитей, одни из которых являются несущими, а другие – с выпуклостью вверх – стабилизирующими.

Поверхность покрытия двойкой кривизны из вантовых сетей обычно имеет вид гиперболического параболоида – «гипара» (седловидные покрытия). Шаг нитей составляет 1...3м. В узлах пересечения нити крепятся хомутами или накладками после создания предварительного натяжения. Стрела провеса принимается для несущих нитей $f_n = (1/8...1/15) l_n$, для стабилизирующих $f_s = (1/10...1/25) l_s$.

Особенности покрытий на основе вантовых сетей:

1. Малая строительная высота при высокой жесткости покрытия, соответствующей жесткости двухпоясных систем.
2. Сложность устройства ограждения из-за переменной кривизны поверхности покрытия.
3. Необходимость устройства пространственных опорных контуров в виде криволинейных или полигональных арок.

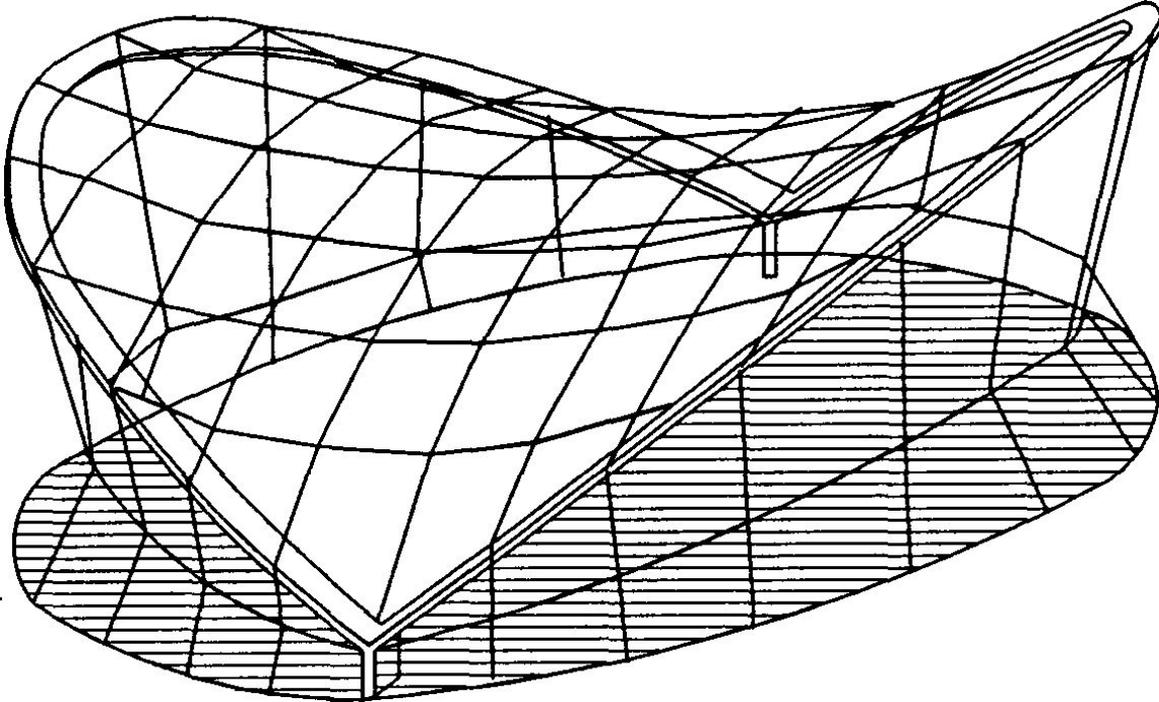
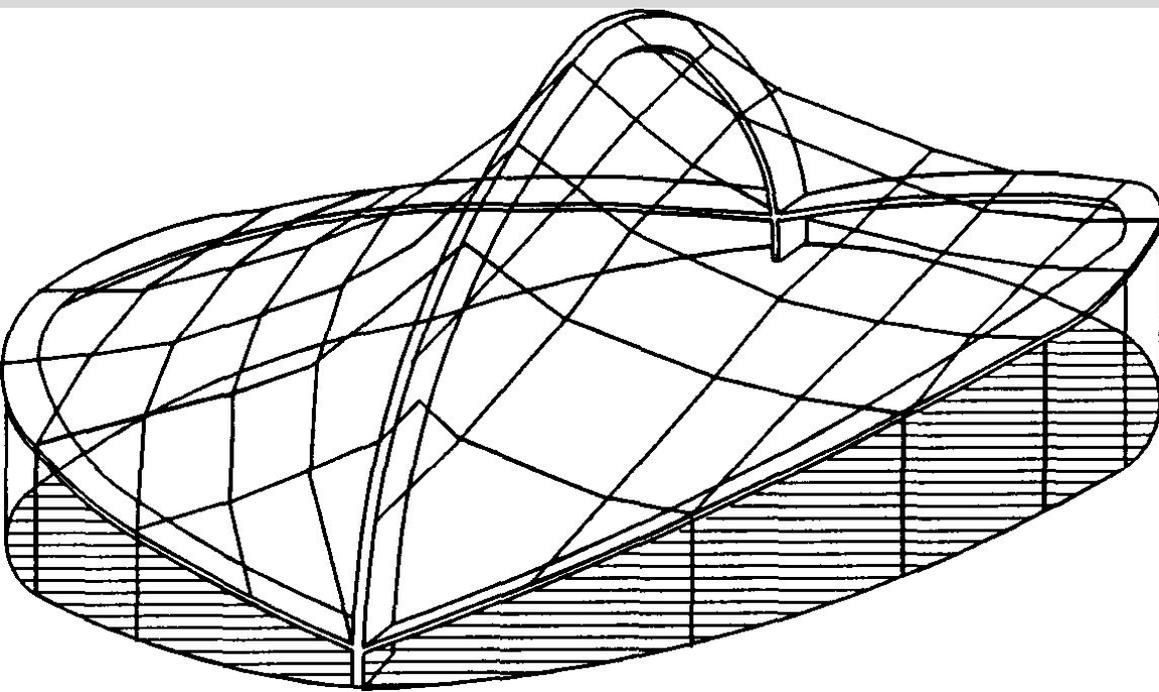


Рис. 4.8. Здания с покрытием в виде вантовых сетей:
виде вантовых сетей:

а) две опорные арки с общими точками опирания; б) две опорные арки с центральной аркой

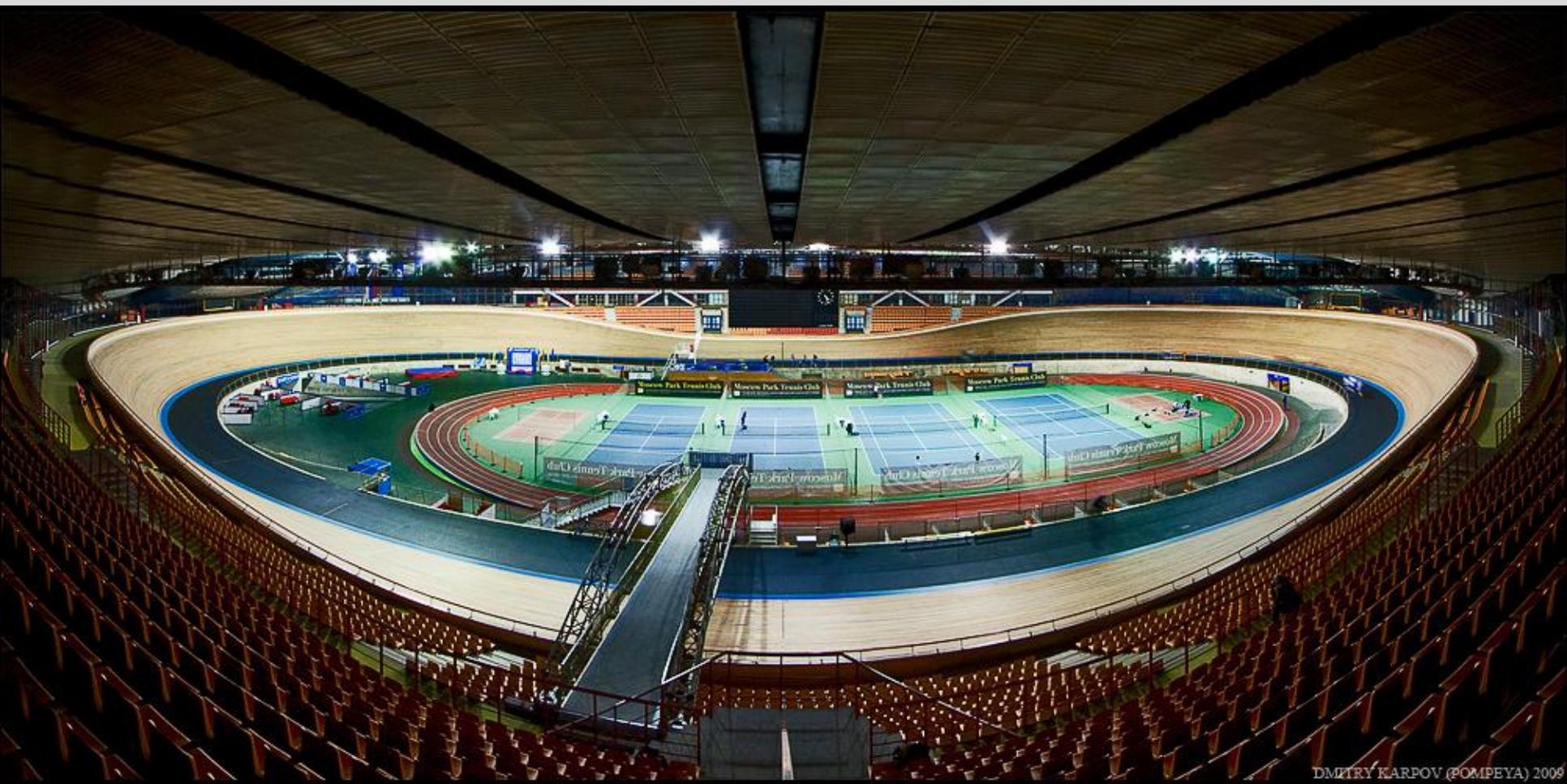




**Рис. 4.9. Крытая спортивная арена в Ралее на 5500 мест, шт. Северная Каролина, США
(здание перекрыто одноярусной висячей конструкцией седлообразной формы)**



**Рис. 4.10. Велотрек в Крылатском на 6000 зрителей
(длина трека 333,3 м при ширине 10 м)**



DMITRY KARPOV (POMPEYA) 2009

Рис. 4.11. Велотрек в Крылатском на 6000 зрителей (перекрытие - мембранные седловидные оболочки, закрепленные на четырех наклонных бесшарнирных арках пролетом 168 м, пятах которых соединены затяжками. Мембранное покрытие выполнено из рулонированных сварных стальных полотнищ толщиной 4мм по направляющим из стальных полос 750x6 мм, расположенных через каждые 6,3м)



Рис. 4.12. Крытый спортивный комплекс «Олимпийский» в Москве на 30 000 зрителей

Стадион имеет овальный план с размерами главных осей 224 и 183м. Состоит из спортивной арены 73x11м для футбола, трансформируемую в арену 79x144м, а также легкоатлетическую беговую дорожку длиной 400м.

Сооружение перекрывается мембранной оболочкой, закрепленной по контуру в монолитном железобетонном кольце, имеющем в поперечном сечении размеры 5x1,75м, опертом на стальные колонны. Стрела провеса оболочки в центре 12,5 м. Мембрана собирается из тонколистовых секторов толщиной 5мм по парным, радиально расположенным ребрам-фермам высотой 3,5 м с шагом по наружному контуру 10 м и кольцевым элементом по верхним и нижним поясам стабилизирующих поясов.



**Рис. 4.13. Спортивно-концертный комплекс с трибунами на 25 000 зрителей
в Санкт-Петербурге**

Путем трансформации части трибун арена может быть увеличена до 124x89 м. Большая трибуна вмещает 17 000 зрителей. Покрытие зала представляет собой мембрану, несущие тросы которой примыкают к опорному железобетонному кольцу над поверхностью кровли.

4.5. Комбинированные системы

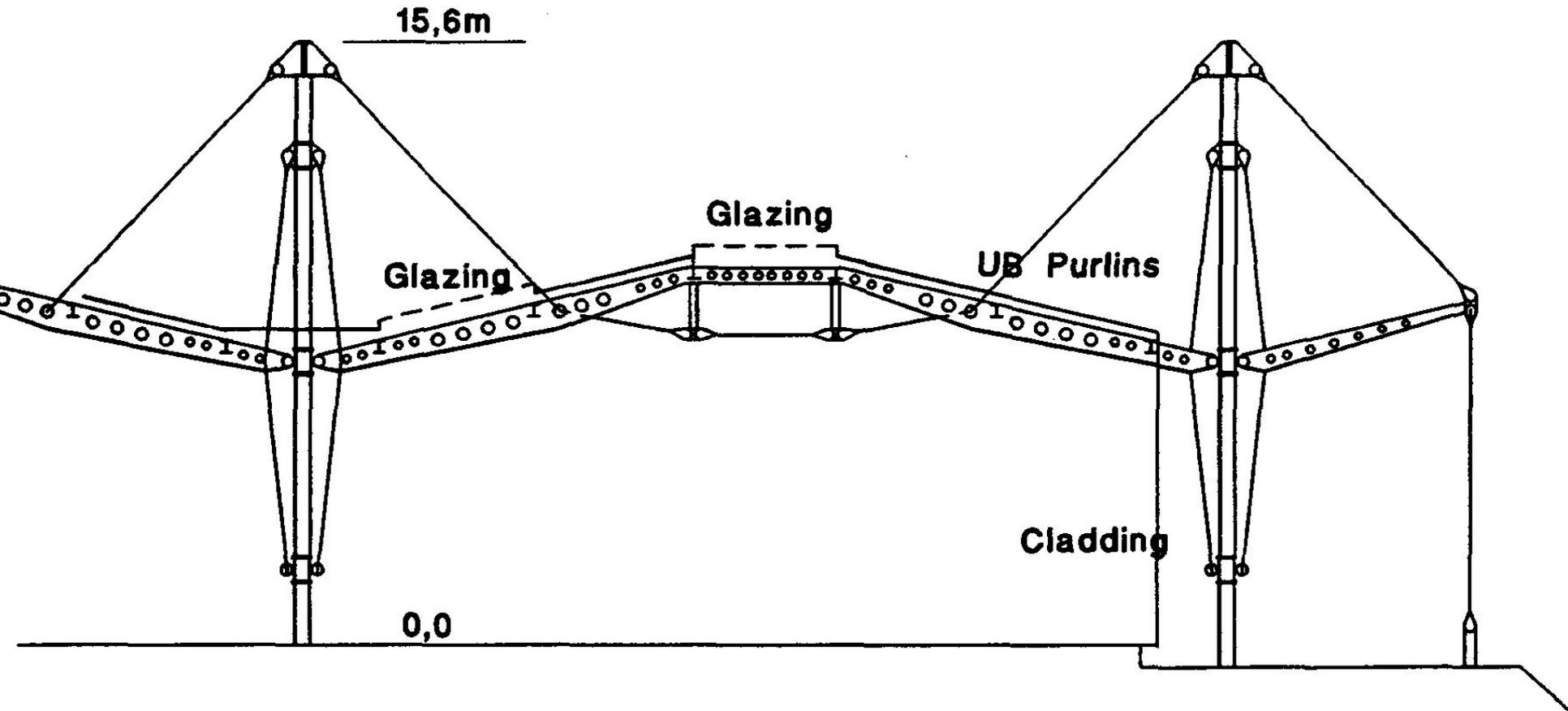


Рис. 4.14. Комбинированное покрытие

Достоинство связано с наличием вант, что позволяет уменьшить изгибающий момент в ригелях и снизить их высоту сечения и массу.

Недостатки по сравнению с обычными покрытиями из ферм и балок:

1. Наличие выступающих колонн и открытых тросов над кровлей, которые необходимо защищать от коррозии.
2. Сложность изготовления и регулирования напряжений в вантах при монтаже и в процессе эксплуатации.

Характеристики. Угол наклона вант должен быть не менее 30° для уменьшения сжимающих усилий в ригеле. Строительная высота ригеля принимается $1/12 \dots 1/20$ расстояния между точками подвеса к вантам.

4.5. Особенности расчета и конструирования

Прогиб ванты в середине пролета приближенно можно определить по формулам:

а) при равномерно распределенной нагрузке (параллельные нити)

$$f = \frac{3}{128} \left(\frac{m}{f} \right)^2 \cdot \frac{p \cdot l^4}{E \cdot A}, \quad m = L / l = 1 + \frac{8}{3} \left(\frac{f}{l} \right)^2.$$

б) при действии нагрузки по двум треугольникам (радиально расположенные нити)

$$f = \frac{5}{864} \left(\frac{m}{f} \right)^2 \cdot \frac{p \cdot l^4}{E \cdot A}, \quad m = L / l = 1 + \frac{18}{5} \left(\frac{f}{l} \right)^2.$$

p – интенсивность нагрузки, E , A - модуль упругости и площадь поперечного сечения ванты

При $f/l \leq 1/8$ можно считать нагрузку от массы конструкций распределенной вдоль хорды, а провис нити описывается квадратной параболой.

Принимая нить нерастяжимой, определяем усилия в нити: $H = \frac{M_x}{y}$

$$H = \frac{q \cdot l^2}{8f} \quad \text{- при параллельно расположенных нитях}$$

$$H = \frac{q \cdot l^2}{24f} \quad \text{- при радиально расположенных нитях}$$

Кубическое уравнение для распора:

$$H^3 + A \cdot H^2 = D \cdot B$$

Параметры А и В учитывают начальные параметры нити, а D учитывает схемы и нагрузки:

$$D = \int_0^l Q_x^2 \cdot dx$$

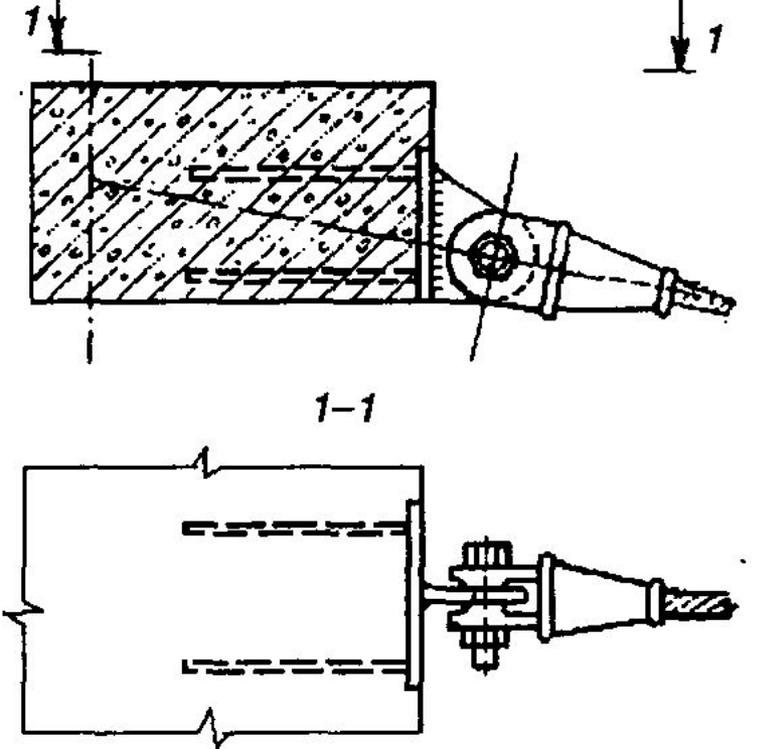


Рис. 4.15. Крепления ванта к контуру

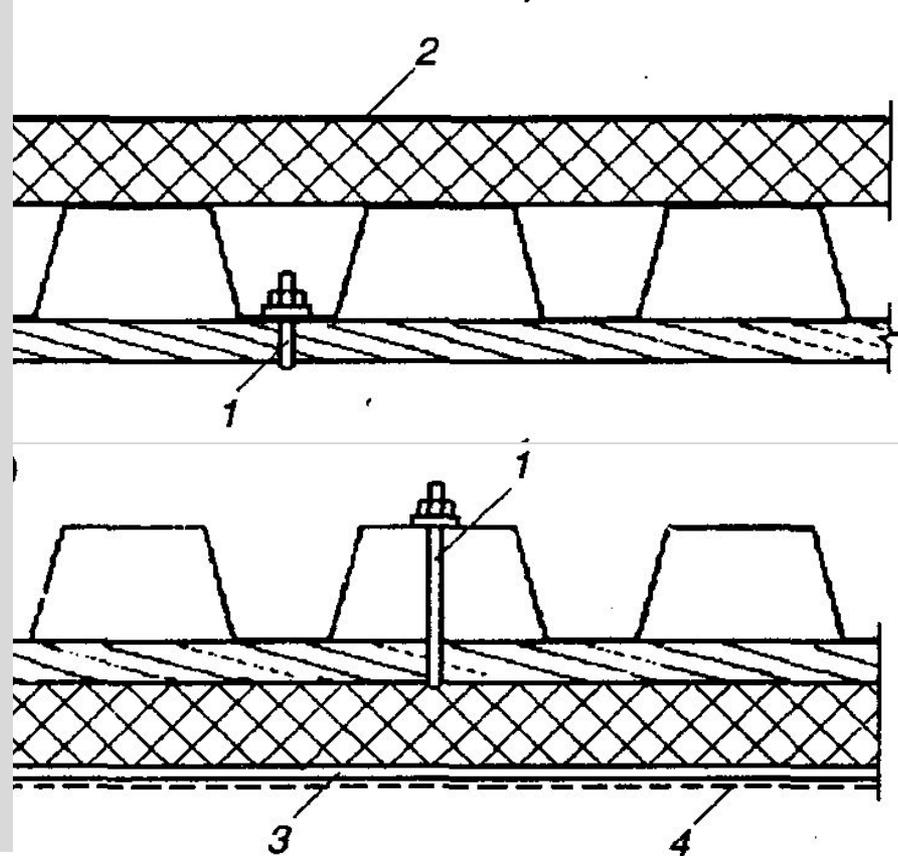


Рис. 4.17. Конструкция кровли из профилированных листов:

- 1 – болт с крюком;
- 2 – гидроизоляционный ковер;
- 3 – пароизоляция;
- 4 – поддерживающая сетка

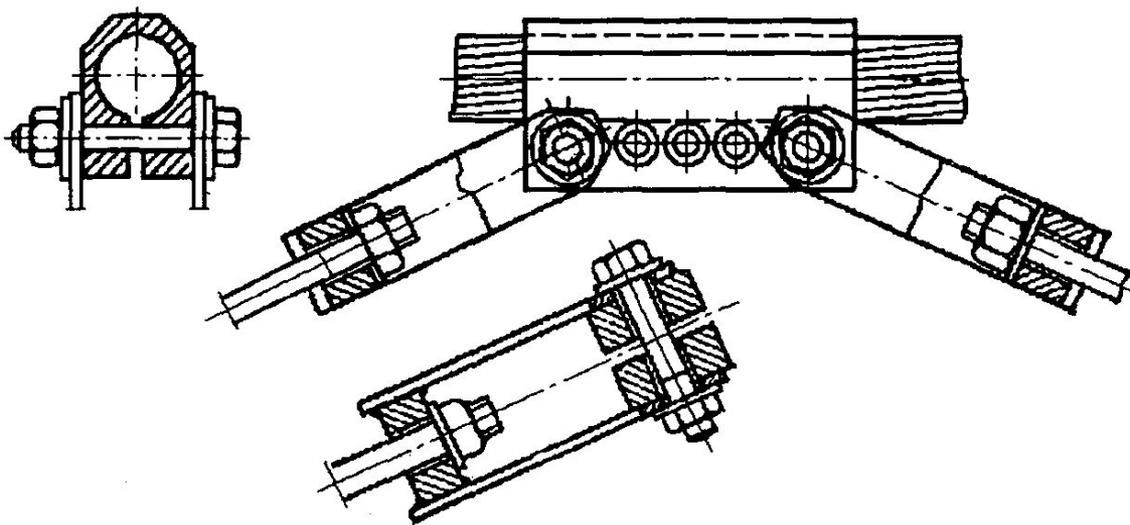


Рис. 4.16. Узел вантовой фермы

Преимущества:

- полное использование высокопрочных материалов, возможность перекрытия больших пролетов; снижение стоимости покрытия (тросы в 4-5 раз прочнее и только в 2-2,5 раза дороже обычной конструкционной стали); экономия может быть получена даже при малых пролетах;
- удобство и быстрота монтажа: по сравнению с другими пространственными конструкциями;
- кровельные щиты и свернутые в бухты несущие элементы покрытия легко транспортируются;
- повышенная архитектурная выразительность.

Недостатки:

- повышенная деформативность, для уменьшения которой необходимо прибегать к их стабилизации, что требует дополнительных затрат;
- необходимость устройства специальных опорных конструкций для восприятия усилий распора, что увеличивает (иногда значительно) стоимость покрытия;
- сравнительная трудность отвода воды с кровли