

# Висячие покрытия



```
graph TD; A[Висячие покрытия] --> B[1. Однопоясные системы]; A --> C[2. Двухпоясные системы]; A --> D[3. Седловидные напряженные сетки]; A --> E[4. Металлические оболочки-мембраны]; B --> B1[1.1. С гибкими нитями]; B --> B2[1.2. С изгибно-жесткими нитями];
```

**1. Однопоясные системы**

**2. Двухпоясные системы**

**3. Седловидные напряженные сетки**

**4. Металлические оболочки-мембраны**

**1.1. С гибкими нитями**

**1.2. С изгибно-жесткими нитями**

# ВИСЯЧИЕ ПОКРЫТИЯ

## КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

### ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ

Висячими называются покрытия, в которых основные элементы пролетной несущей конструкции работают на растяжение. В растянутых элементах наиболее полно используются высокопрочные материалы, поскольку их несущая способность определяется прочностью, а не устойчивостью. Во многих осуществленных покрытиях несущая конструкция выполнена из стальных канатов-тросов, свитых из высокопрочной проволоки. Работа на растяжение, позволяющая полностью использовать всю площадь сечения каната, и высокая прочность материала приводят к тому, что вес несущей конструкции относительно мал и эффективность применения висячих конструкций возрастает с увеличением пролета.

Таким образом, висячие конструкции покрытий являются одной из наиболее перспективных конструктивных форм для применения новых высокопрочных материалов.

К преимуществам висячих покрытий следует отнести их хорошую транспортабельность и возможность монтажа без подмостей.

# 1.1.ОДНОПОЯСНЫЕ СИСТЕМЫ С ГИБКИМИ НИТЯМИ

## КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

- Напряженной арматурой в них является система из гибких нитей,на которые во время монтажа укладывают сборные железобетонные плиты.В качестве гибких нитей обычно используют тросы или арматурные стержни.

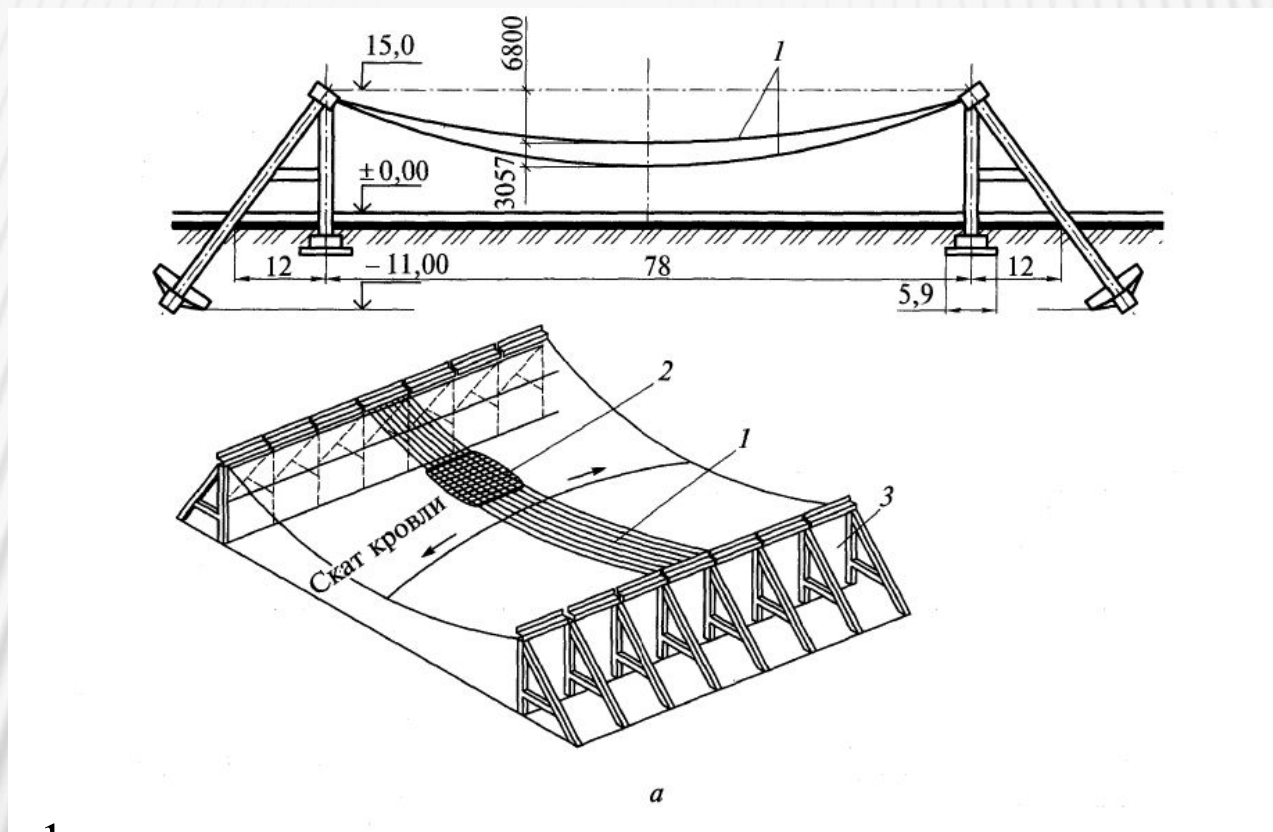
Напряжение оболочки осуществляется одним из следующих способов:

- -замоноличиванием швов между плитами расширяющимся бетоном;
- -натяжением тросов после укладки плит пригрузкой из специальной нагрузкой или домкратами с последующим замоноличиванием швов.

- После твердения бетона замоноличивания пригруз снимают,тросы обжимают железобетонные плиты и образовавшаяся железобетонная оболочка получает предварительное напряжение сжатия,позволяющее ей воспринимать растягивающие напряжения от внешних нагрузок и обеспечивающее общую жесткость конструкции.

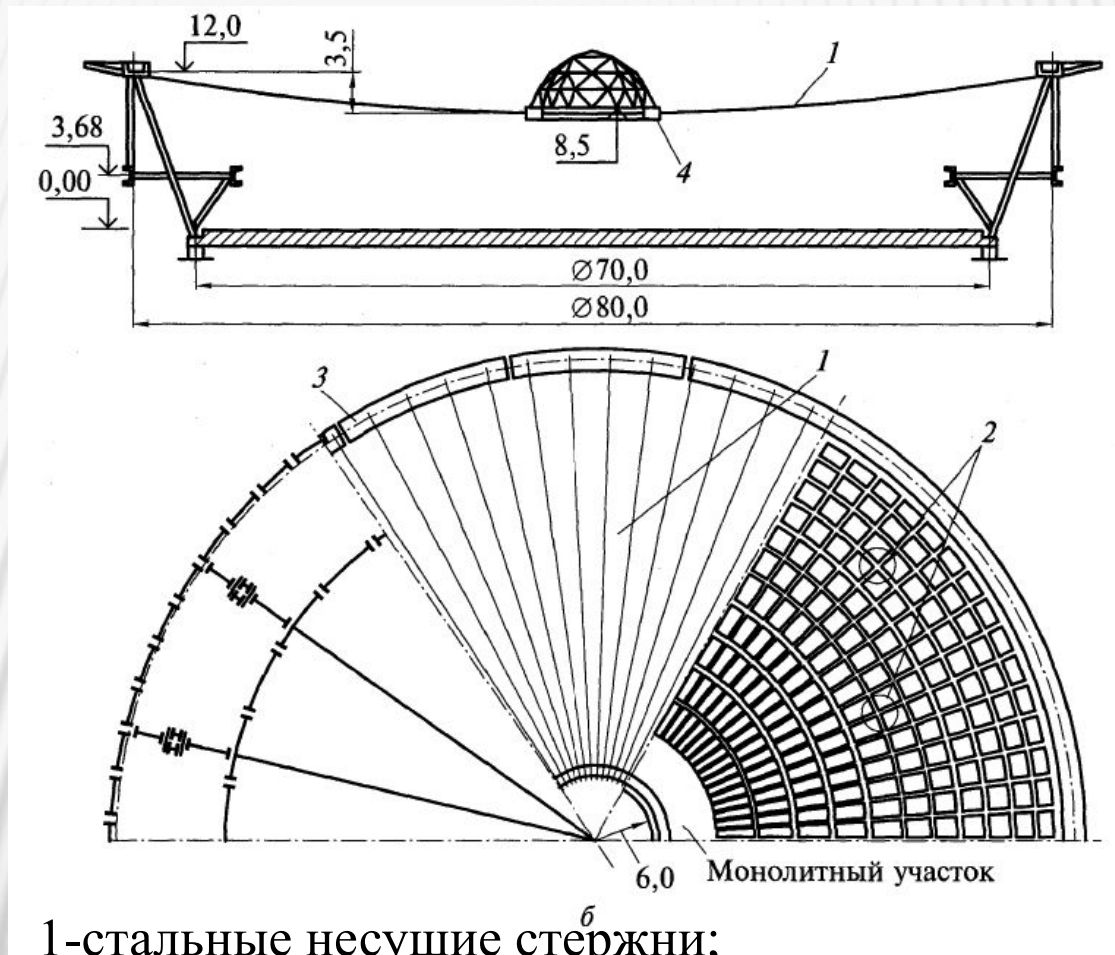
- Несущая способность оболочки обеспечивается работой тросов на растяжение.

# Схема однопоясной системы покрытий гибкими нитями на прямоугольном плане:



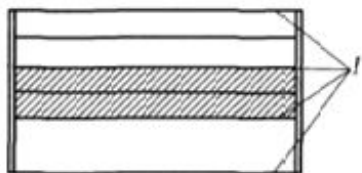
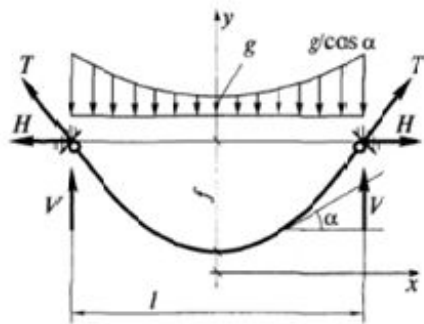
- 1-стальные несущие стержни;  
2-железобетонные плиты;  
3-опорная конструкция.

# Схема однопоясной системы покрытий гибкими нитями на круглом плане:

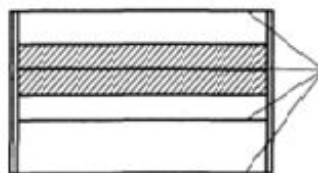
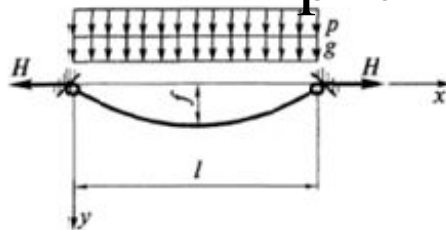


- 1-стальные несущие стержни;
- 2-железобетонные плиты;
- 3-опорная конструкция.
- 4-среднее металлическое кольцо.

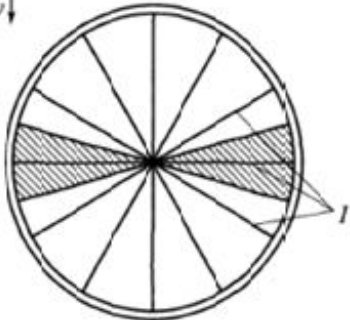
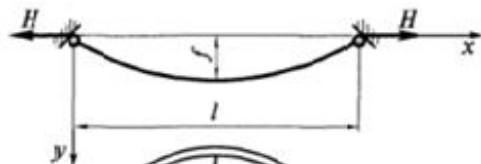
# Схема равномерного нагружения покрытий и расчетные схемы нитей(1):



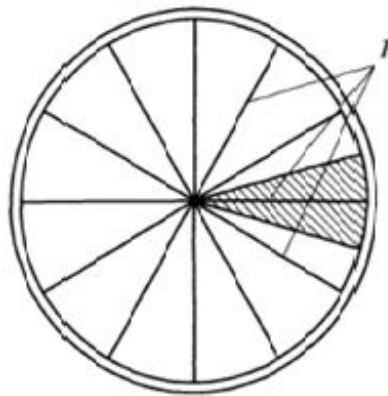
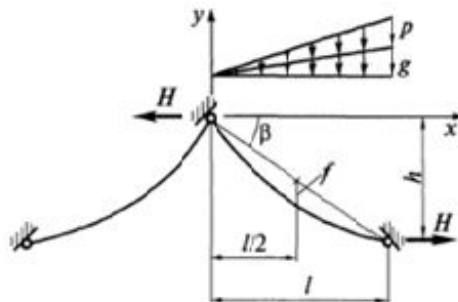
a



б



в



г

а-нагружение собственным весом нити;  
б-прямоугольное покрытие;  
в-круглое покрытие;  
г-шатровое покрытие.

# ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАСЧЕТА

- 1. Определяем распор в нитях без учета их деформаций:

$$H = M_0/f,$$

- где  $M_0$  - балочный момент от расчетной нагрузки;  $f$  - стрела провеса нити.

- 2. Наибольшее усилие в нити будет на опоре:

$$T = \sqrt{H^2 + V^2},$$

- 3. Прогиб нити в середине пролета приблизительно можно определить:

- при действии равномерно распределенной по длине нити временной нагрузке:

$$f - f_0 = W = (3/128)(m^2 pl^4 / EAf_0^2),$$

$$\text{где } m = L/l = 1 + (8/3)(f_0/l)^2;$$

- при действии нагрузки, распределенной по двум треугольникам с вершинами на опорах (для круглых покрытий):

$$W = (5/864)(m^2 pl^4 / EAf_0^2),$$

$$\text{где } m = L/l = 1 + (18/5)(f_0/l)^2.$$

## 1.2.ОДНОПОЯСНЫЕ СИСТЕМЫ С ИЗГИБНО-ЖЕСТКИМИ НИТЯМИ

В покрытиях этой системы в качестве несущих элементов обычно используют криволинейные двутавры или фермы, хорошо работающие как на растяжение, так и на изгиб. Их называют изгибно-жесткими нитями. Под действием внешней нагрузки они работают на растяжение с изгибом, причем для уменьшения изгиба от постоянной нагрузки кривую их провеса принимают по веревочной кривой от этой нагрузки или на время монтажа устраивают в них временные шарниры, превращая их в гибкую нить. Перед завершением строительства временные шарниры замыкают, на временные нагрузки они работают как изгибно-жесткие нити.

Уравнение равновесия изгибно-жестких нитей имеет следующий вид:

$$H \frac{d^2(y+w)}{dx^2} + EI \frac{d^4w}{dx^4} - q(x) = 0.$$

Это уравнение отличается от уравнения только одним членом, учитывающим изгибную жесткость нити. Критерием влияния изгибной жесткости нити может служить параметр

$$u = (l/2)\sqrt{H/EI}.$$

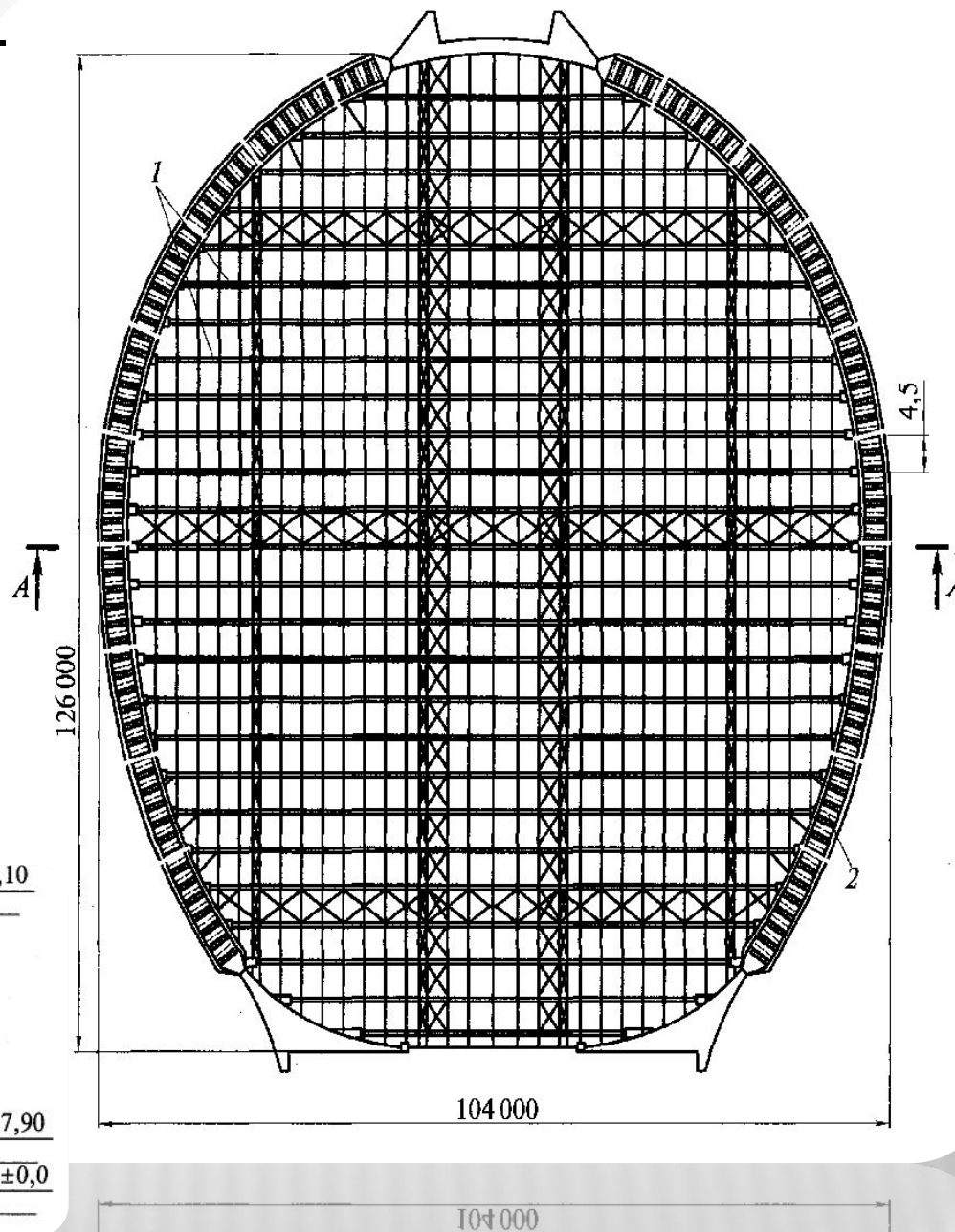
При  $u > 3$  влияние изгибной жесткости на распор в нити становится незначительным. Примером покрытия с изгибно-жесткими нитями может служить покрытие Олимпийского плавательного бассейна в Москве (рис. 20.3). Овальное в плане здание размером 126x104 м перекрыто фермами, изогнутыми по квадратной параболе, расположенными параллельно друг другу с шагом 4,5 м и шарнирно прикрепленными к наклонным железобетонным аркам.

Покрытия этого типа были осуществлены также над плавательными бассейнами в Харькове и Вильнюсе.

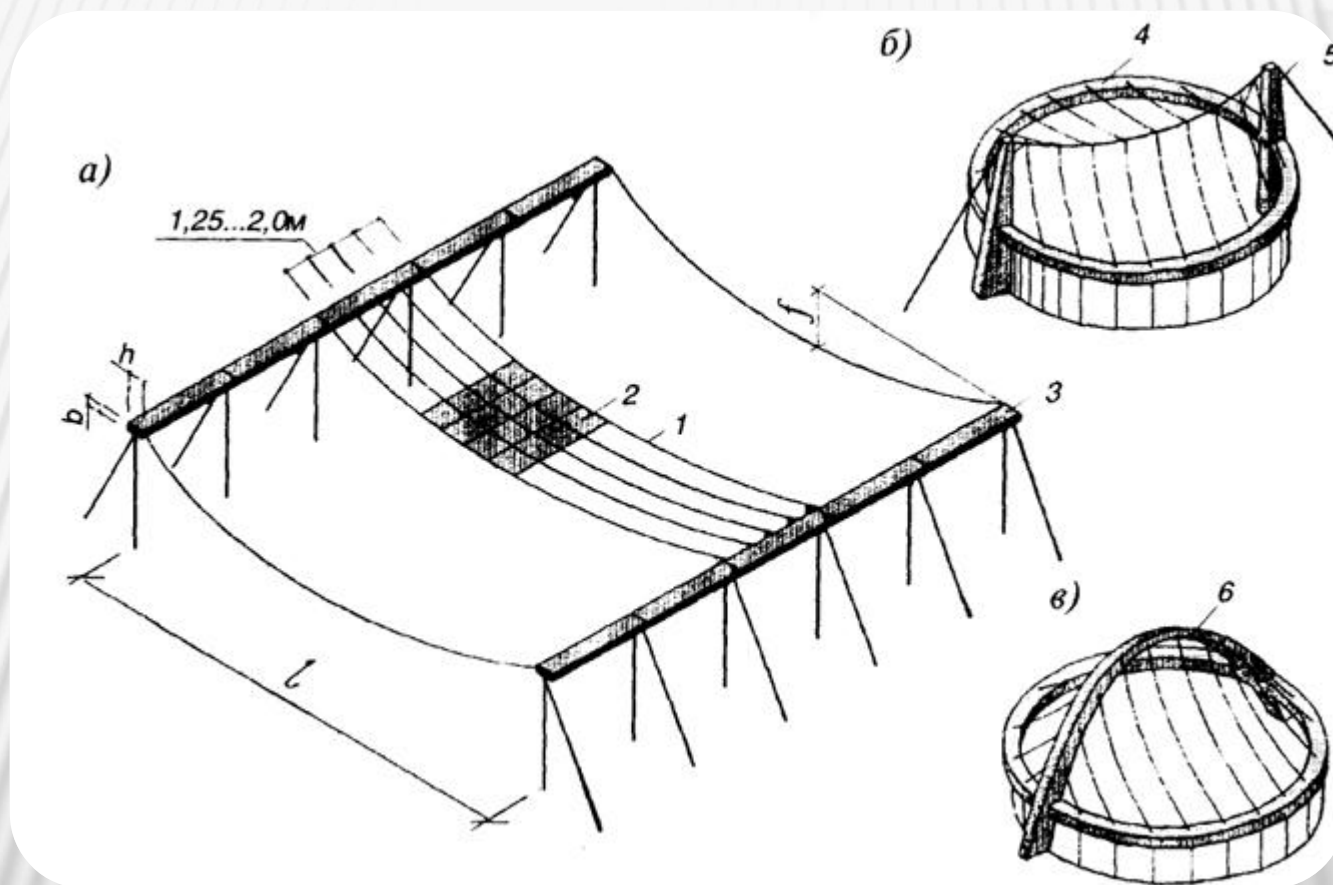


# Схема покрытия изгибно-жесткими нитями:

1-висячие фермы;  
2-опорные конструкции.



# Схема однопоясных систем с параллельными нитями:



а - на прямоугольном плане; б, в - на круглом плане; 1 - несущие нити; 2 - плиты кровли; 3 - балки опорного контура; 4 - опорное кольцо; 5 - пилон; 6 - арка.

# ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ

---

Достоинства: простота их конструктивной формы, индустриальность изготовления, использование обычных недефицитных сталей, возможность устройства легкой кровли, отсутствие необходимости в предварительном напряжении.

Недостатки: большая металлоемкость, отсутствие пространственности работы покрытия. Общим недостатком однопоясных круглых в плане висячих систем является большое количество типоразмеров трапециевидных железобетонных плит, укладываемых на ванты. Недостаток вогнутых систем — трудность отвода воды с покрытия.

# ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАСЧЕТА

- 1. Определите нормативные и расчетные значения постоянной  $g$  и временной (снеговой)  $p$  нагрузок на 1 покрытие. Назначьте вес пригрузов в пределах  $g+(0,1...0,3)p$ . Проследите за тем, чтобы постоянная нормативная нагрузка  $gp$  была не ниже максимального ветрового отсоса (составляющего не более  $1,5...2,0$  кН/м<sup>2</sup>)

$$q = [g+(1,1...1,3 p)] a$$

- 2. Задайтесь стрелкой провисания нити в середине пролета  $L$  - для нити в виде каната ( $1/15...1/20$ )  $L$ , для нитей из проката - ( $1/20...1/30$ )  $L$ . Определите распор, балочную реакцию, тяжение нити и требуемую площадь поперечного сечения

$$H = \frac{ql^2}{8f}; \quad V = \frac{ql}{2}; \quad T = \sqrt{H^2 + V^2}; \quad A = \frac{T}{R_{yc}}$$

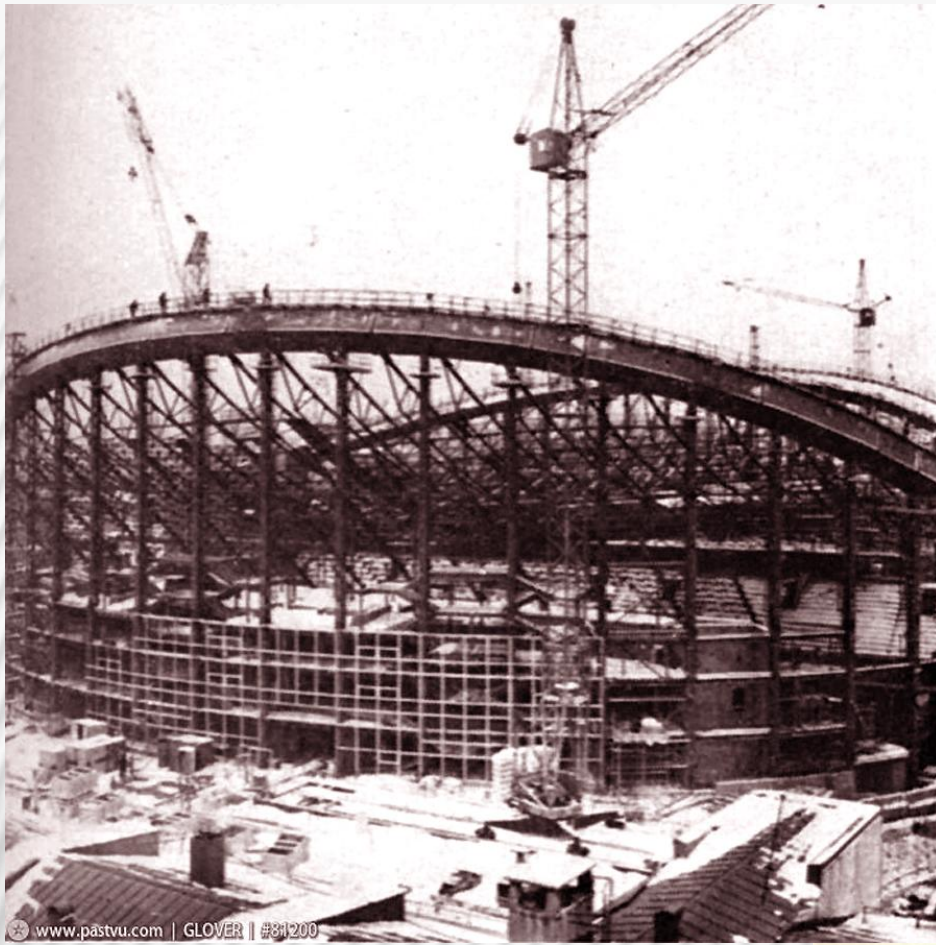
- 3. Найдите по формуле длину исходной заготовки, что обеспечит при действии расчетных нагрузок реализацию заданного значения стрелки провеса

$$L = l \left[ 1 + \frac{8}{3} \left( \frac{f}{l} \right)^2 - \frac{H}{EA} \right]$$

- 4. Проверьте деформативность покрытия, для чего оцените приращение стрелки провеса при действии нормативной снеговой нагрузки. Относительное значение этой стрелки не должно превышать нормируемого значения  $L/200$

$$\Delta f = \frac{3}{128} \frac{m^2 p_n l^4}{EA f^2}, \quad \text{где } m = \frac{S}{l} = 1 + \frac{8}{3} \left( \frac{f}{l} \right)^2$$

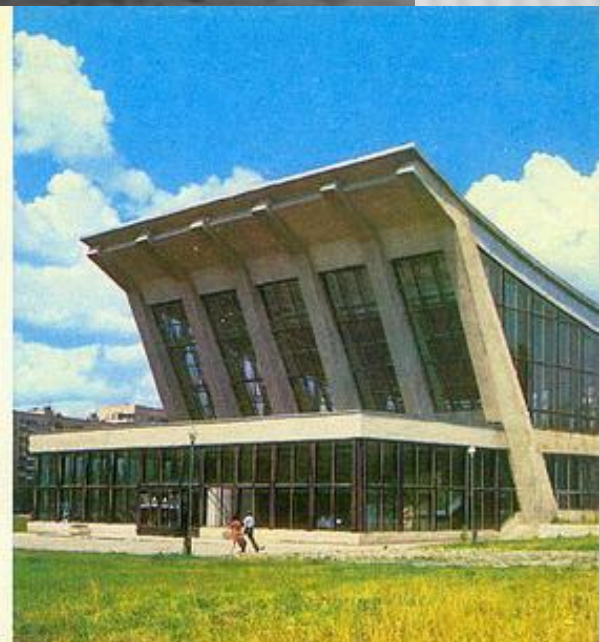
# ОЛИМПИЙСКИЙ ПЛАВАТЕЛЬНЫЙ БАССЕЙН В МОСКВЕ





# ОЛИМПИЙСКИЙ ПЛАВАТЕЛЬНЫЙ БАССЕЙН В ХАРЬКОВЕ «ПИОНЕР»

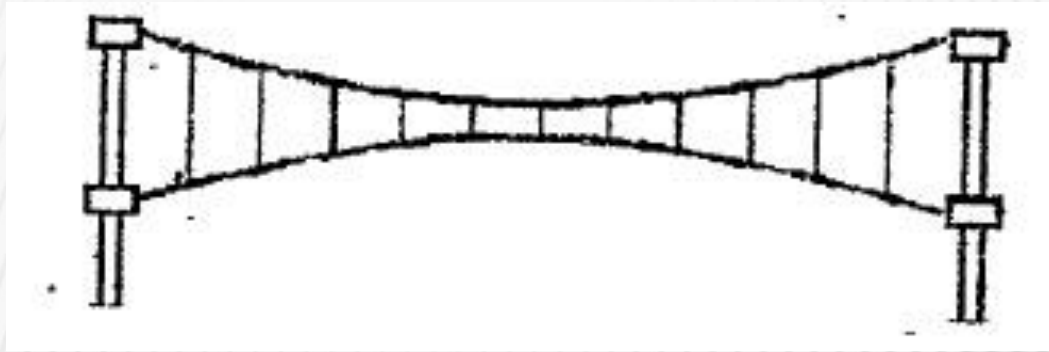




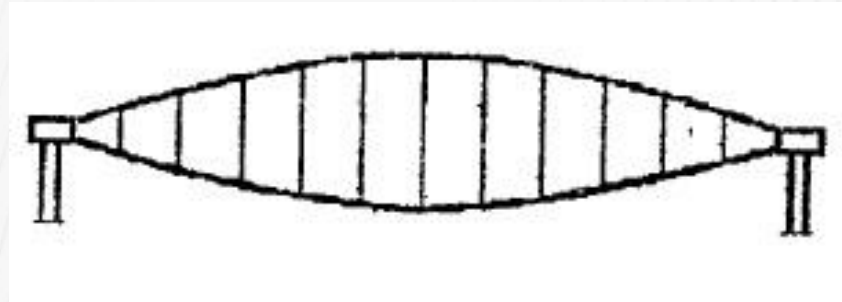


## 2. ДВУХПОЯСНЫЕ СИСТЕМЫ КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ

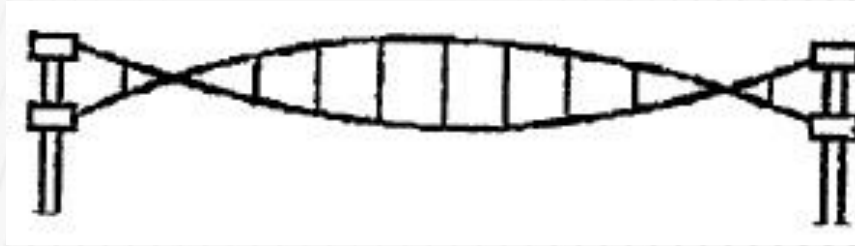
- Двухпоясными называют конструкции покрытий, состоящие из двух систем нитей, расположенных параллельно или радиально. Одна из них является несущей и ее работа не отличается от работы однопоясной системы. Другая система нитей, связанная с помощью тяжей или распорок с первой, обеспечивает стабилизацию покрытия за счет предварительного напряжения.
- Взаимное расположение несущих и стабилизирующих нитей может быть осуществлено по 3 схемам:



- 1. При расположении несущей нити выше стабилизирующей, соединяющие нити элементы работают на растяжение, что дает возможность выполнить из тросов или круглой стали. Но при таком решении увеличивается строительная высота и возникает необходимость организации двух опорных контуров отдельно для несущих и стабилизирующих нитей.

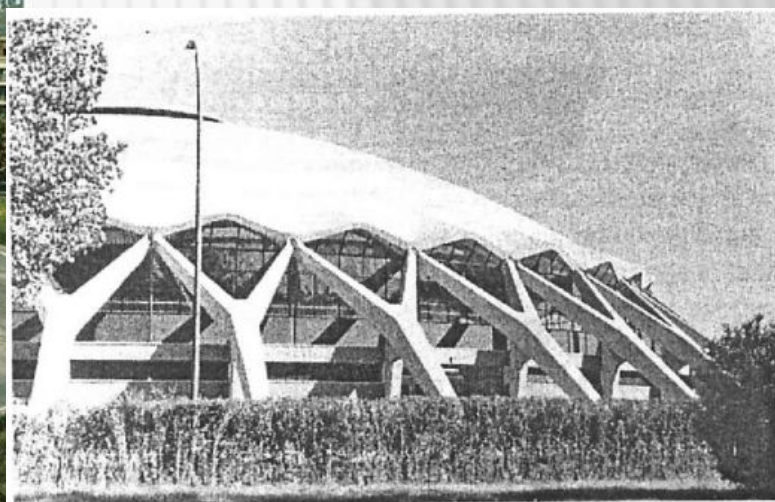
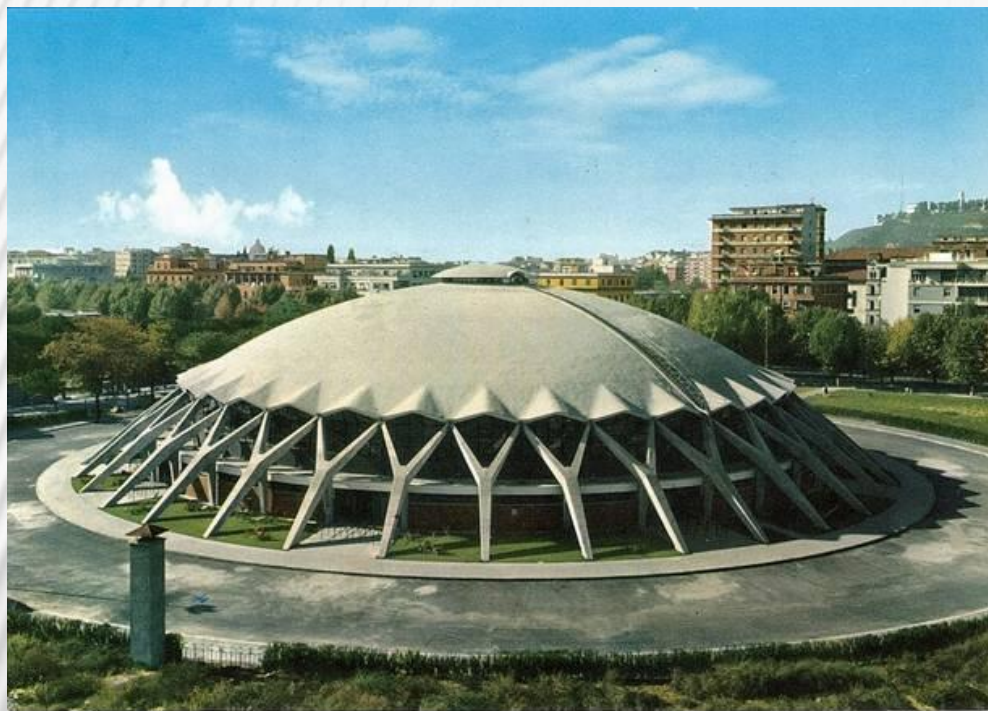


- 2. Расположение нитей по такой схеме позволяет устроить один общий опорный контур и создает условия для организации наружного водоотвода. Так же элементы, соединяющие пояса в этой системе, работают на сжатие, что усложняет конструкцию и приводит к повышению металлоемкости.

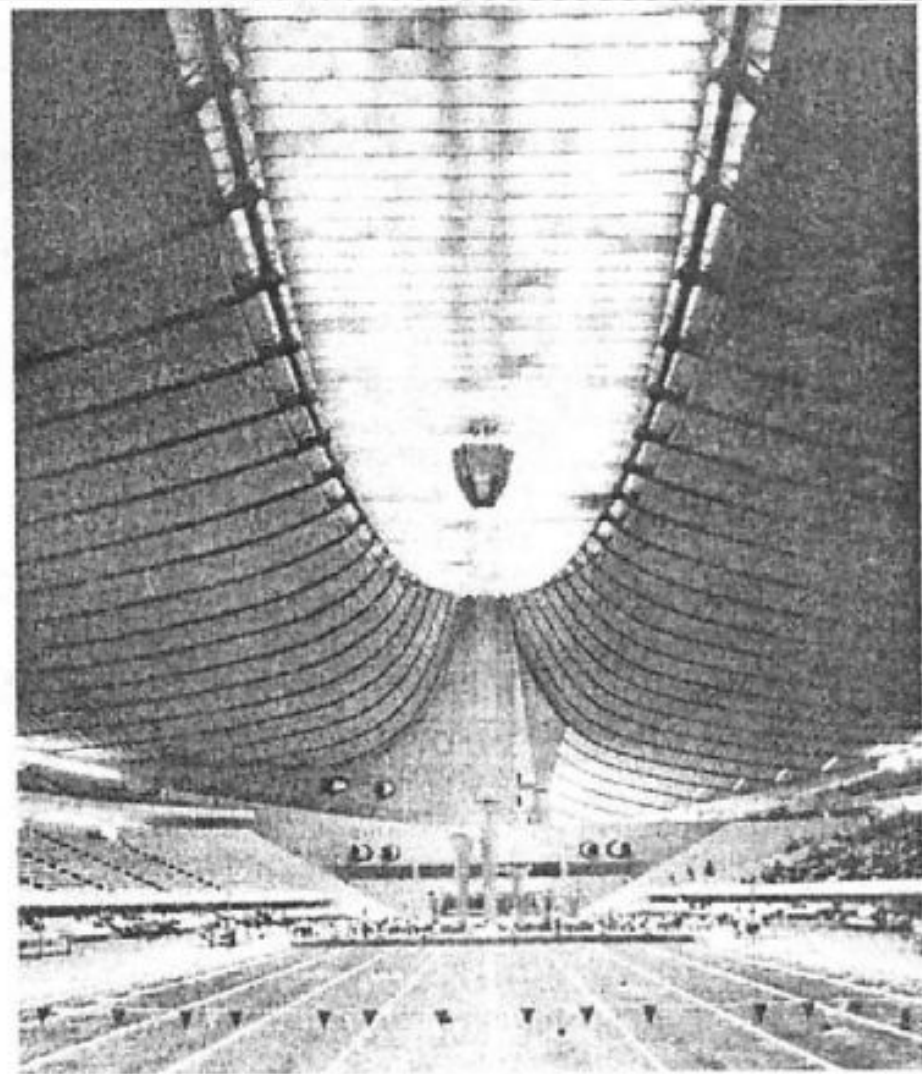


- 3. Данной схеме присущи недостатки и преимущества первых двух схем. Длина сжатых элементов здесь может быть уменьшена. Так же возможно устройство наружного водоотвода.

# РИМ. МАЛЫЙ ОЛИМПИЙСКИЙ ДВОРЕЦ СПОРТА. ИНЖ. П. Л. НЕРВИ. 1959 Г

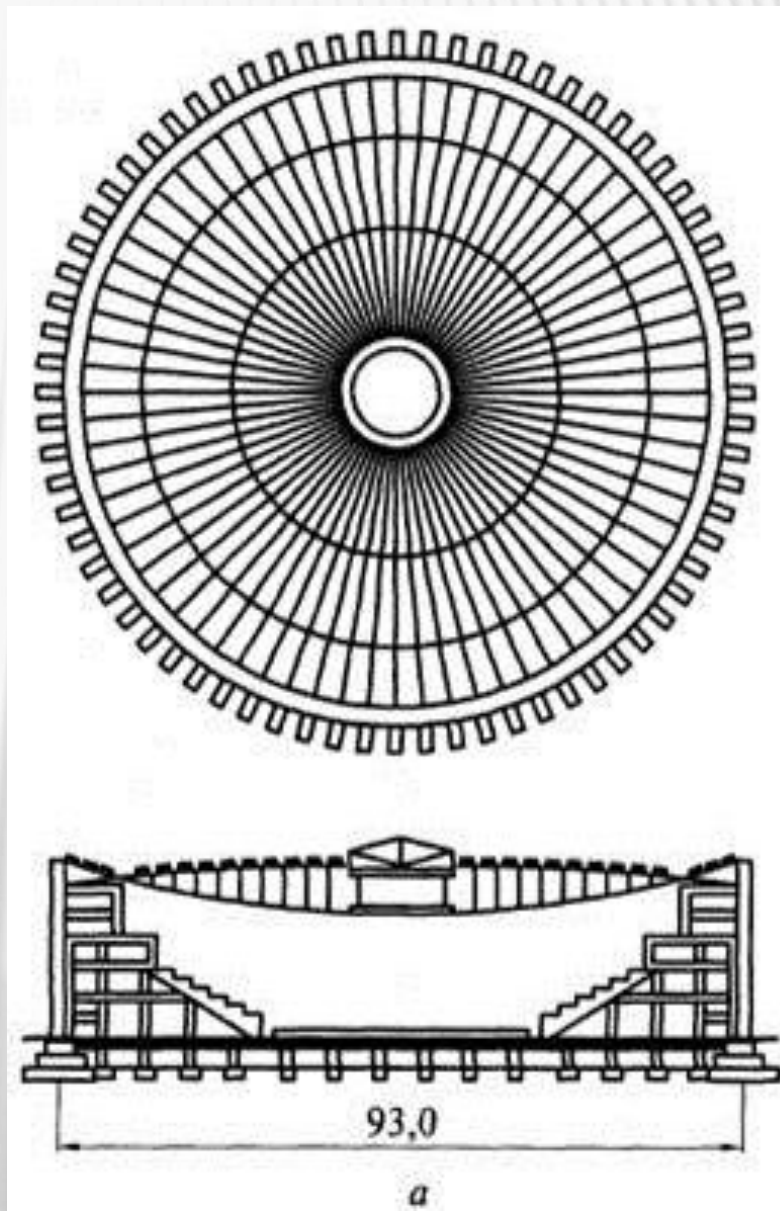


ТОКИО. ОЛИМПИЙСКИЙ ПЛАВАТЕЛЬНЫЙ  
БАССЕЙН: ОБЩИЙ ВИД И ИНТЕРЬЕР. АРХ К.  
ТАНГЕ, ИНЖ. Е. ЦУБОИ



# Схема двухпоясной системы покрытия:

а-покрытие дворца спорта  
«Юбилейный»



# ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАСЧЕТА

- 1. Назначаем состав ограждающих конструкций, определяем постоянные и временные нагрузки
- 2. Задаемся стрелками провесов несущей и стабилизирующей нитей в пределах  $1/8 \dots 1/20$  пролета
- 3. Задаемся коэффициентом  $\alpha = 0,1 \dots 0,15$  в первом приближении:
  - Для покрытий выполненных по первой схеме предварительное напряжение целесообразно выполнить после монтажа ограждающих конструкций, т.е. после приложения постоянной нагрузки  $g$ . В этом случае величину компактной нагрузки нужно назначить из условия невыключения из работы стабилизирующих нитей после приложения снеговой нагрузки. Тогда падение компактной нагрузки будет равно:

$$q = p \frac{\alpha f_s}{f_n + \alpha f_s}$$

- - В покрытиях, выполненных по двум другим схемам, предварительное напряжение удобно производить до монтажа ограждающих конструкций, при этом величину контактной нагрузки приходится назначить несколько больше, исходя из ее падения при загрузке покрытия собственным весом и снегом :

$$q = (g + p) \frac{\alpha f_s}{f_n + \alpha f_s}$$



- -Определив падение контактной нагрузки назначаем ее величину

$$q_0 = q + \Delta q, \quad \text{где} \quad \Delta q = (0,2 \dots 0,3) q.$$

- 4. Подберите в первом приближении сечение стабилизирующей нити из расчета восприятия ей распора от контактной нагрузки:

$$T_s = \sqrt{H_s^2 + V_s^2}; \quad A_s > 1,6 T_s / (k_p R_{un});$$

- В покрытиях с параллельными нитями:

$$H_s = q_0 l^2 / 8 f_s; \quad V_s = q_0 l / 2;$$

- В покрытиях с радиальными нитями:

$$H_s = q_0 l^2 / 24 f_s; \quad V_s = q_0 l / 4.$$

- 5. Подберите в первом приближении сечение несущей нити:

$$T_n = \sqrt{H_n^2 + V_n^2}; \quad A_n > 1,6 T_n / (k_p R_{un});$$

- В покрытиях в параллельными нитями:

$$H_n = (g + p + \Delta q) l^2 / 8 f_n; \quad V_n = (g + p + \Delta q) l / 2;$$

- В покрытиях с радиальными нитями :

$$H_n = (g + p + Dq) l^2 / 24 f_n; \quad V_n = (g + p + Dq) l / 4.$$

6. Вычислите коэффициент  $\alpha$  и уточните контактную нагрузку:

$$\alpha = \frac{m_n^2 E_s A_s f_s}{m_s^2 E_n A_n f_n}; \quad q = p \frac{\alpha f_s}{f_n + \alpha f_s}; \quad \Delta q = (0,2 \dots 0,3) q; \quad q_0 = q + \Delta q.$$

7. Вернитесь в пп. 4 и 5. и повторите расчет при новых значениях контактных нагрузок. Выберите подходящие канаты и найдите их длины:

$$L = l \left[ 1 + \frac{8}{3} \left( \frac{f}{l} \right)^2 - \frac{H}{EA} \right].$$

8. Оцените деформативность покрытия в приближенном варианте:

$$\Delta f_i = k \frac{p_i l^4}{(1 + \alpha f_s / f_n) E A_n f_n^2} \leq \frac{1}{200} l$$

9. Определите усилия в распорках:

$$N = (g + p + \Delta q) a$$

или растяжках и подберите их сечение

$$N = q_0 a,$$

10. Определите линейную нагрузку на балки опорного контура от распоров нитей, назначьте состав и подберите размеры поперечного сечения элементов опорного контура.

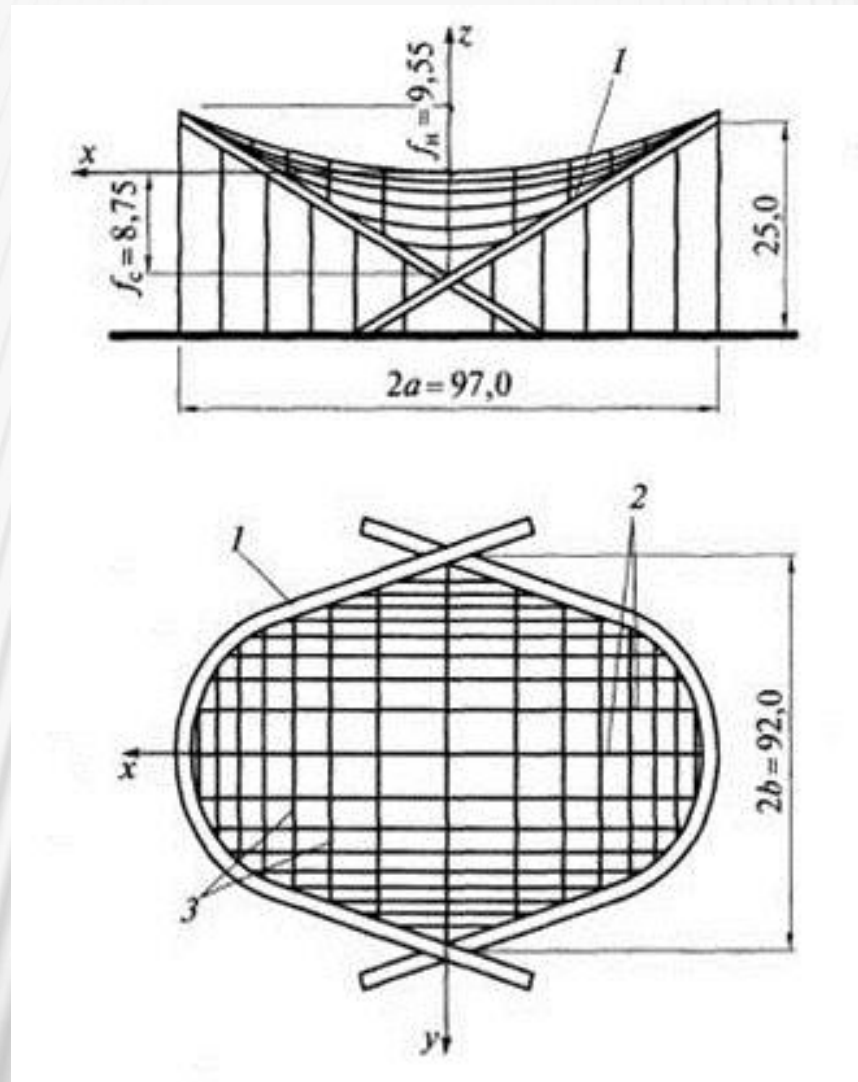
# 3. СЕДЛОВИДНЫЕ НАПРЯЖЕННЫЕ СЕТКИ

## КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

### ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ

- ▣ Седловидное покрытие представляет собой систему, состоящую из напряженной сетки, имеющей чаще всего поверхность гиперболического параболоида и жесткого или комбинированного опорного контура. Сетки образуются двумя семействами ортогонально расположенных взаимно перпендикулярных тросов, одни из которых несущие (вогнутые), другие — стабилизирующие (выпуклые).
- ▣ В зависимости от конструкции опорного контура можно создавать разнообразные по композиционному решению архитектурно-конструктивные формы седловидных покрытий и зданий в целом, благодаря чему седловидные сетки получили широкое распространение в практике строительства.
- ▣ Наиболее распространены типы опорных контуров — комбинаций из двух или трех арок стоящих наклонно друг к другу и опирающихся на фундаменты, колонны или несущие стены. Такие конструктивные решения обладают хорошими компоновочными возможностями при создании крупнопролетных зданий общественного назначения. Применение наклонных арок возможно в комбинации с тросами-подборами ( и прямолинейными контурами в виде балок. Возможны также седловидные сетки в многопролетных многоячейковых зданиях .
- ▣ Наряду с арочными контурами часто применяют замкнутые контуры в виде изогнутых колец простой и сложной формы ,прямоугольного типа , уступающие арочным по расходу материала.

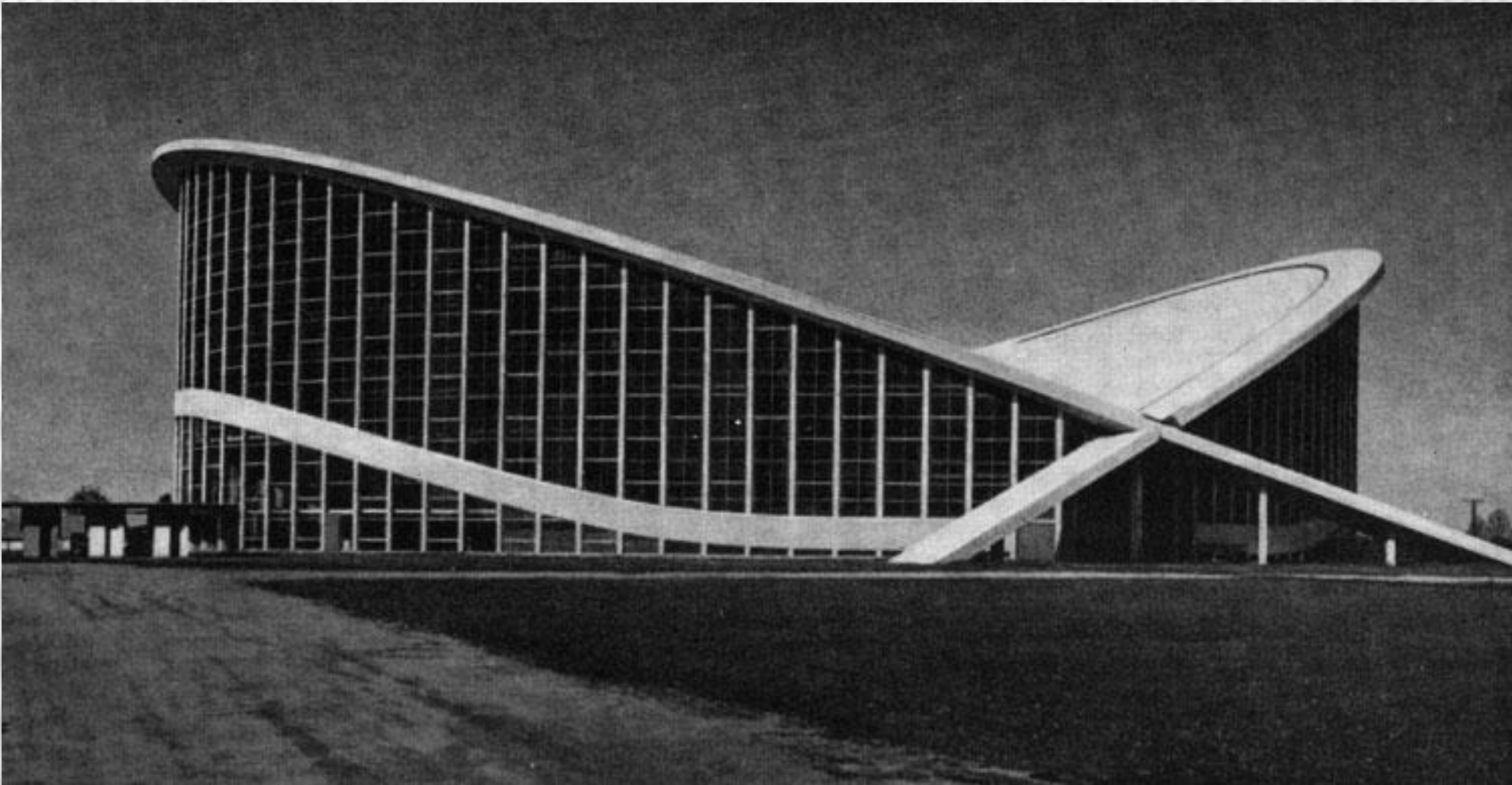
# Схема покрытия Релей-арены:



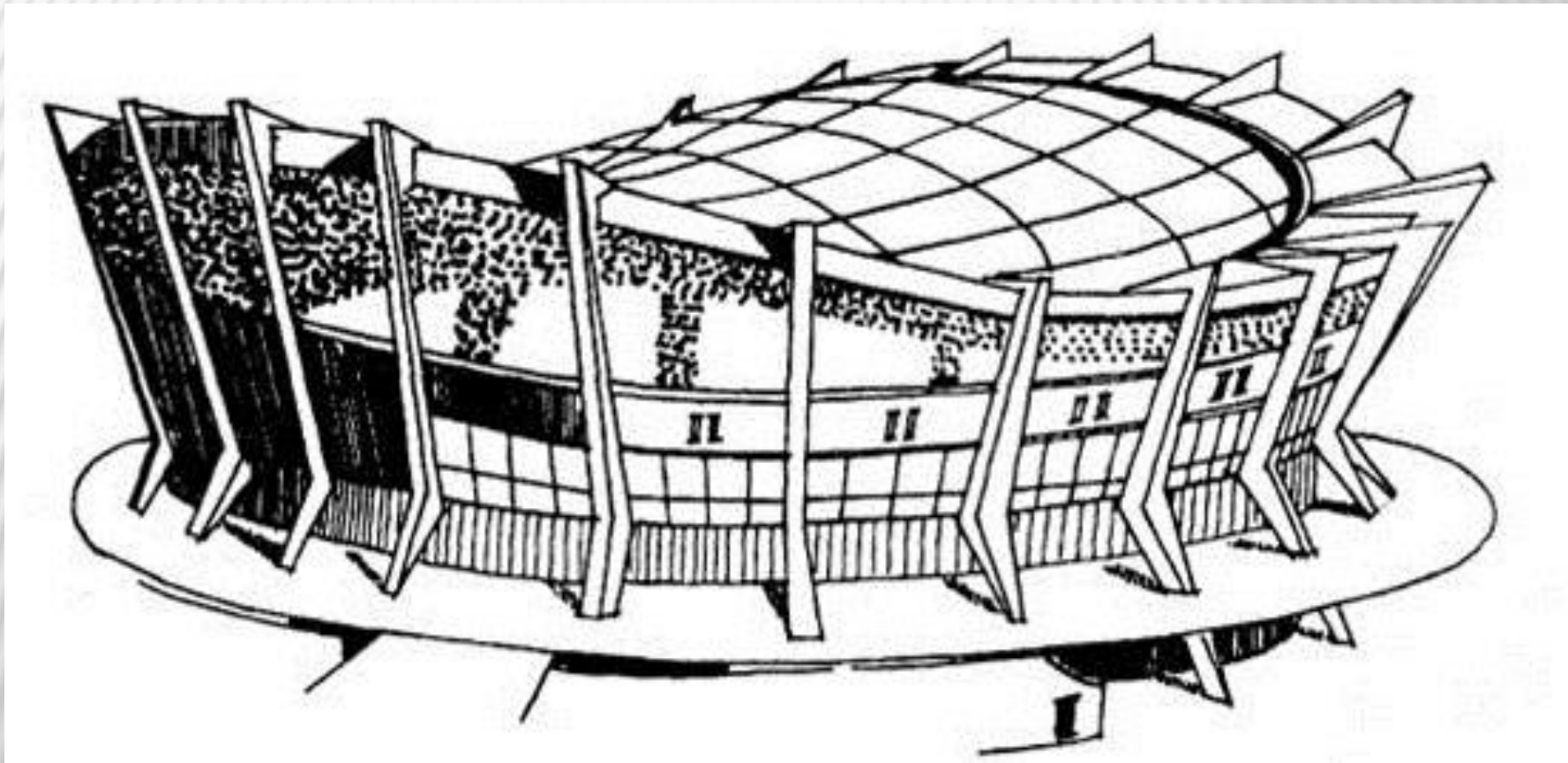
1-железобетонные арки;2-несущие тросы;3-стабилизирующие тросы.

# РЕЛЕЙ-АРЕНА

---



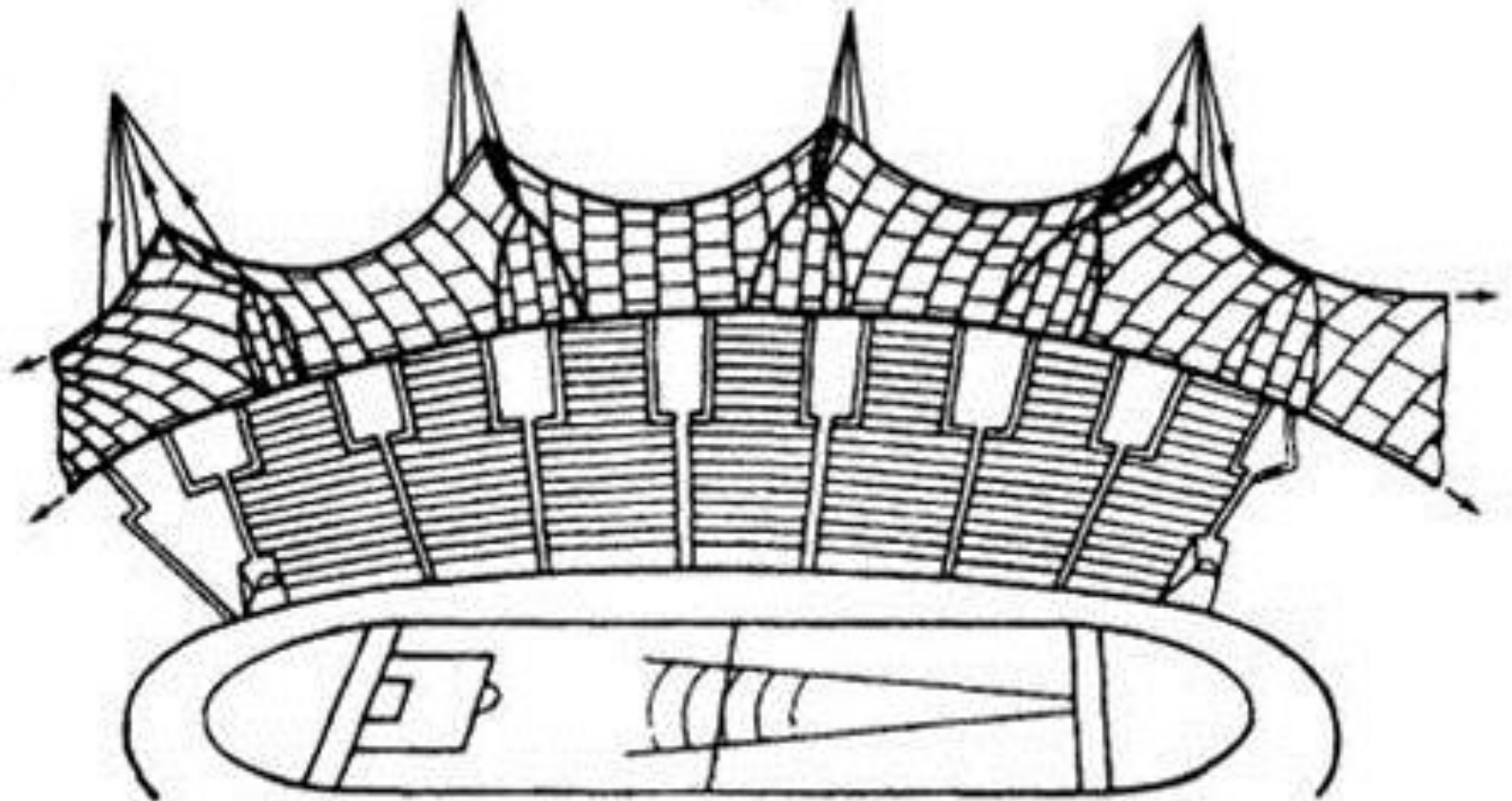
# Схема покрытия зала в Варне(Болгария)



# ЗАЛ В ВЕРНЕ



# Схема покрытия сетками Олимпийского стадиона в Мюнхене





# ОЛИМПИЙСКИЙ СТАДИОН В МЮНХЕНЕ



- Поверхность сетки в постоянных сооружениях ,где значительные постоянные нагрузки равномерно распределены по поверхности покрытия, рекомендуется принимать в форме
- **гиперболического параболоида**, по уравнению:

$$z = f_n \left( \frac{x}{a} \right)^2 - f_c \left( \frac{y}{b} \right)^2,$$

- Последовательность расчет аналогична расчету двухпоясных систем, за исключение пунктов 3,6,8.

- 3. Коэффициент  $\alpha$  следует принимать в пределах 0,5...1,0, а падение контактной нагрузки

$$q = (g + p) \frac{\alpha f_s}{f_n (l_s^2 / l_n^2) + \alpha f_s} \frac{a_s}{a_n},$$

6.

$$\alpha = \frac{m_n^2 E_s A_s f_s}{m_s^2 E_n A_n f_n} \left( \frac{l_n^2}{l_s^2} \right);$$

$$q = (g + p) \frac{\alpha f_s}{f_n (l_s^2 / l_n^2) + \alpha f_s} \frac{a_s}{a_n}.$$

8.

$$\Delta f = \frac{3}{128} \frac{p l_n^4}{\left[ 1 + \alpha \frac{f_s}{f_n} \left( \frac{l_n^2}{l_s^2} \right) \right] E A_n f_n^2} \leq \frac{1}{200} l_n.$$

# 4.МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ОБОЛОЧКИ- МЕМБРАНЫ

## КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

В последние годы среди всевозможных систем покрытий широкое применение получили тонкостенные металлические оболочки-мембраны (мембранами называются тонкие; оболочки, в работе которых изгибными напряжениями можно пренебречь). Главными преимуществами этих систем являются совмещение несущей и ограждающей функций; и индустриальность изготовления.

Изготовленные на заводе полотнища оболочки доставляют на строительство в виде рулонов, из которых на месте собирают всю оболочку без применения лесов. Примерами таких покрытий могут служить Олимпийский стадион и велотрек в Москве.

Олимпийский стадион возводился путем последовательного устройства периферийного опорного кольца и навешивания гибких радиальных ферм, служивших во время монтажа «постелью» для укладки полотнищ чашеобразной оболочки и скрепления полотнищ между собой высокопрочными болтами. В готовом покрытии фермы работают вместе с оболочкой, увеличивая ее жесткость при действии неравномерных нагрузок.

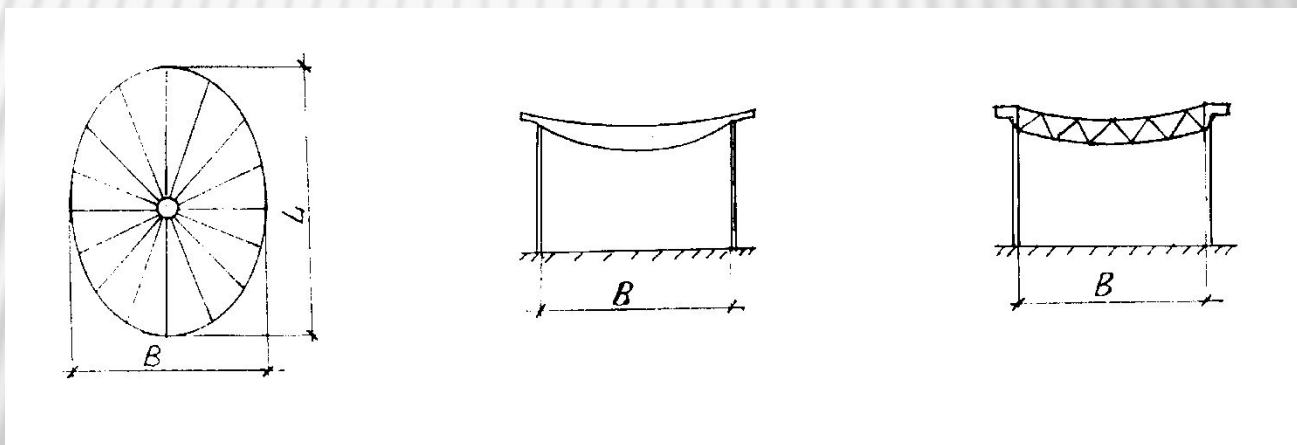
Покрытие велотрека осуществлено двумя металлическими мембранами отрицательной гауссовой кривизны, внутренне стабилизированными. Каждая из мембран прикреплена к двум металлическим аркам коробчатого сечения, а «постелью» для укладки и скрепления между собой полотнищ мембраны служили металлические полосы, провисающие вниз, и перпендикулярно расположенные гнутые швеллеры, выгнутые вверх.

Форма оболочек может быть весьма разнообразной. Существуют покрытия цилиндрическими, коническими, сферическими, чашеобразными, седловидными и шатровыми оболочками.

# ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ

Достоинства: сравнительно низкие трудоемкость и стоимость возведения, совмещение несущих и ограждающих функций.

Недостатки: большая поверхность металла, подверженного коррозии, и относительно невысокая (0,78 ч) огнестойкость.



# Последовательность расчета

Поверхность мембраны принимают по уравнению квадратичного параболоида вращений:

$$z = f(x/a)^2 + f(y/a)^2. \quad (20.12)$$

Геометрические параметры мембраны определяют следующим образом. Радиус меридиана находят из приближенного уравнения кривизны поверхности в вертикальной плоскости  $x - z$ :

$$r_1 \approx 1/z''.$$

Радиус кривизны в кольцевом направлении.....

$$\begin{aligned} \text{где } z'' &= d^2z/dx^2 = 2f/a^2; \\ r_2 &= x/\sin \varphi, \\ \sin \varphi &= \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi}}; \\ \cos \varphi &= \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi}}. \end{aligned}$$

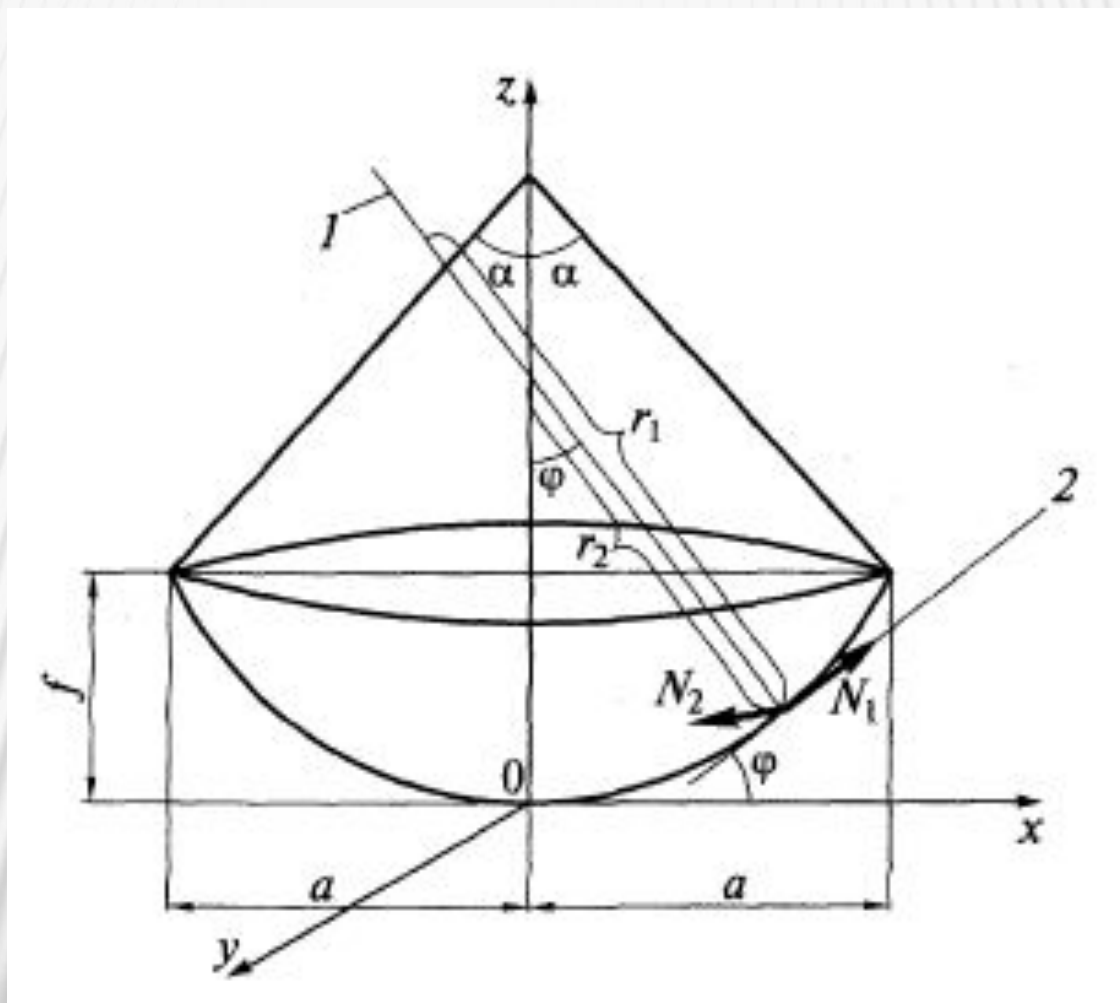
Меридиональное усилие  $N_1$  — меридиональных усилий, действующих на нижнюю отсечённую горизонтальной плоскостью часть оболочки, внешней нагрузке  $G$ , действующей на нее:  $N_2$  — радиальных усилий, действующих на вертикальных проекций

$$\begin{aligned} \text{откуда} \quad 2\pi x N_1 \sin \varphi &= G = \pi x^2 q, \\ N_1 &= qx/(2\sin \varphi). \end{aligned} \quad (20.13)$$

Пользуясь уравнением Лапласа, можно найти радиальное усилие  $N_2$ , от действия нормальной к поверхности оболочки нагрузки  $p = q \cos$ :

$$\begin{aligned} \text{откуда} \quad N_1/r_1 + N_2/r_2 &= p, \\ N_2 &= (p - N_1/r_1)r_2. \end{aligned} \quad (20.14)$$

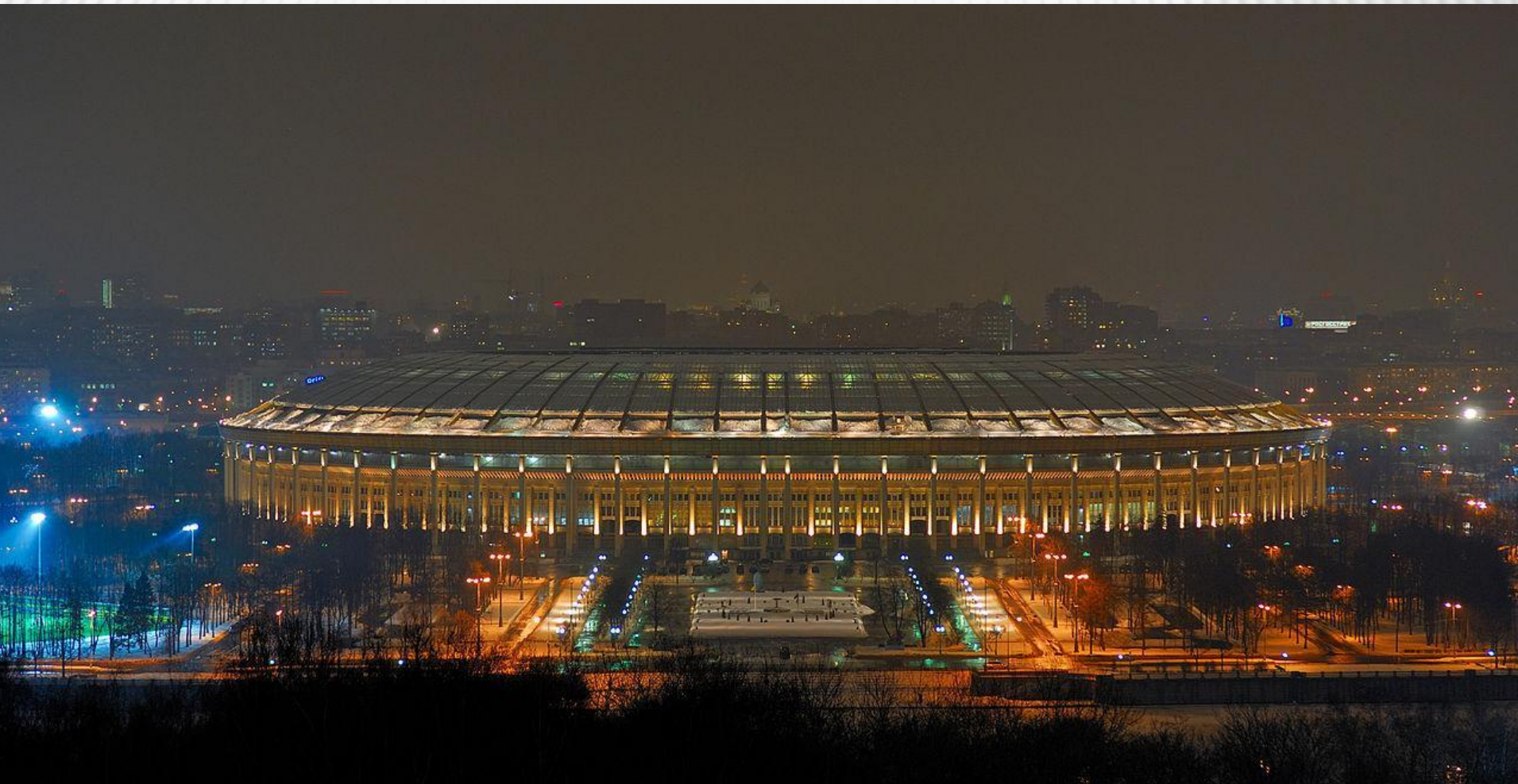
# Расчетная схема оболочек вращения:

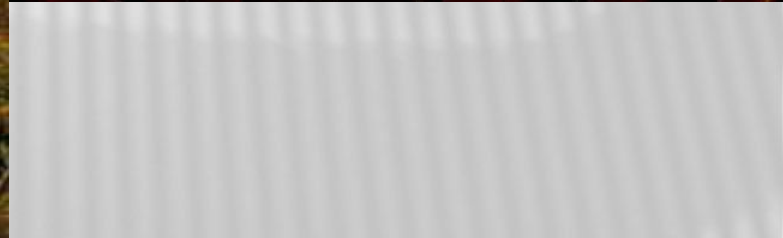


1-нормаль;2-касательная.

# СТАДИОН «ЛУЖНИКИ» В МОСКВЕ

---





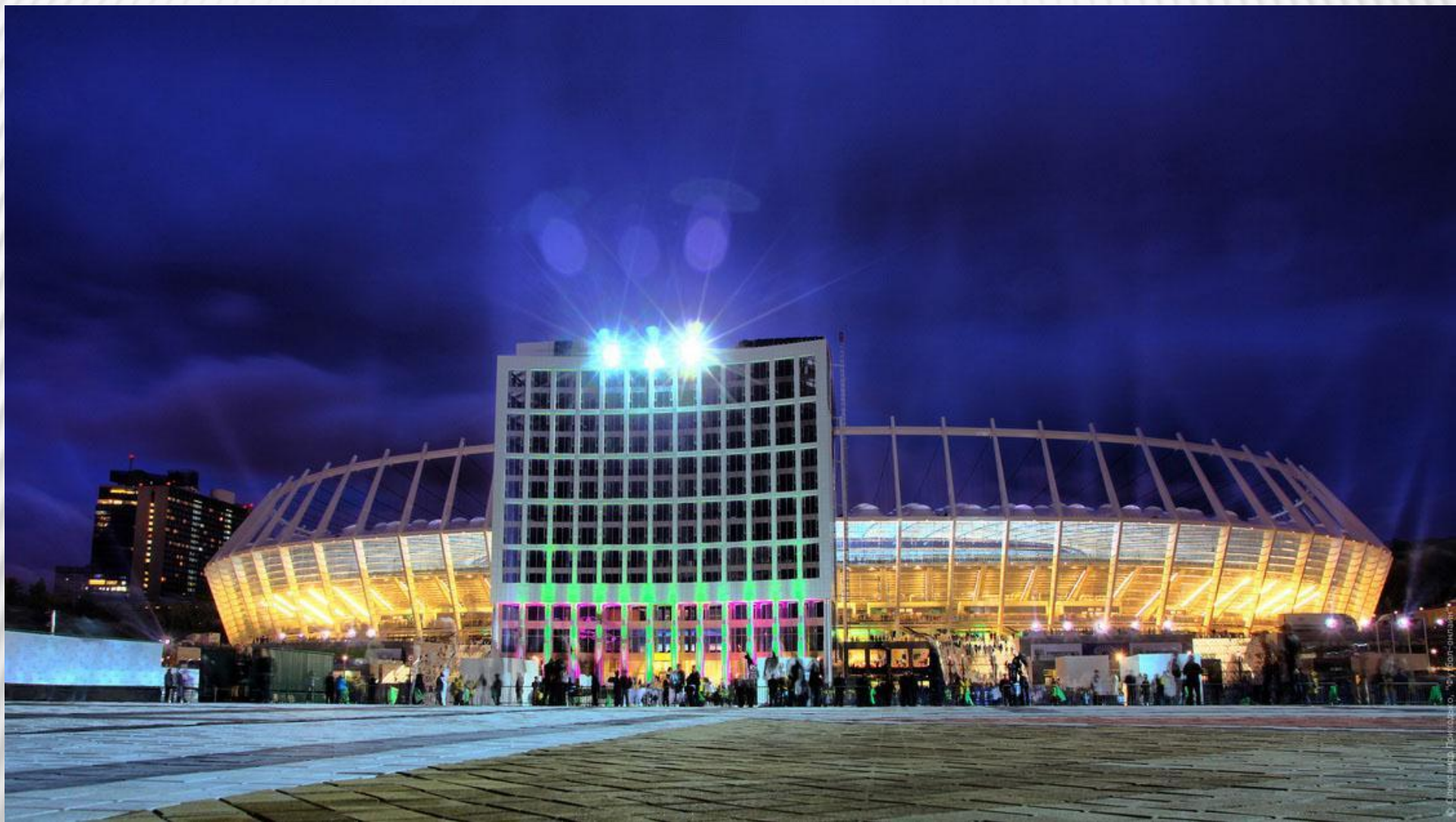


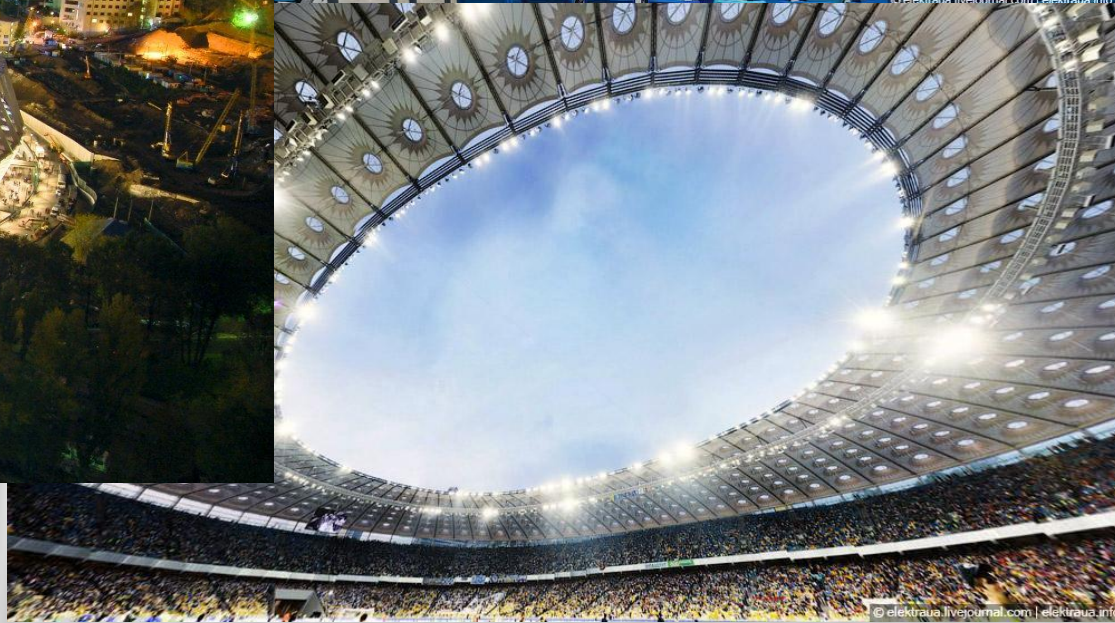
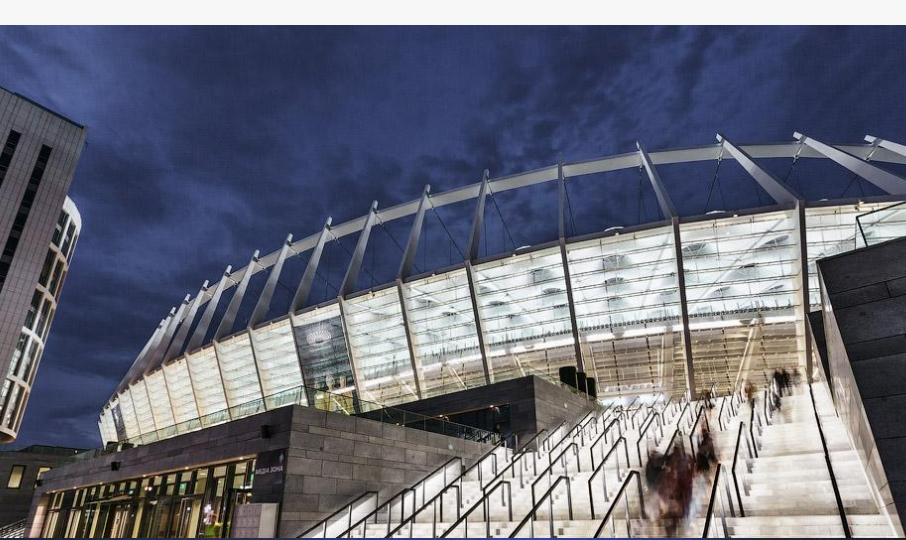
# ВЕЛОТРЕК В МОСКВЕ





# СТАДИОН «ОЛИМПИЙСКИЙ» В КИЕВЕ





# СТАДИОН «ЕРМАК» В Г. АНГАРСКЕ



