

**Схема армирования оболочки  
по форме гиперболического  
параболоида, схемы оболочек  
поддерживаемых стенами или  
фермами**



# Содержание.

- **1 Характеристика**
- **2 Способы образования.**
- **3 Армирование оболочки.**
- **4 Примеры.**
- **5 Литература**



- **Гипары** ( гиперболические параболоиды) - это седловидные висячие покрытия, сформированные в решетчатые мембраны двумя видами нитей



◎ Гипары получили распространение благодаря архитектурным и конструктивным

◎ Особенности форм, большой жесткости и несущей способности, хорошим экономическим и эксплуатационным качествам, возможности формообразования различных систем, используемых при проектировании объемно-пространственных композиций зданий. Такие оболочки применяют для покрытий общественных, производственных зданий, панелей стен и в малых архитектурных формах. Размеры перекрываемого плана находятся в пределах от 10 до 70 м, достигая иногда 100 м.

◎ Гипары возводятся, главным образом, из железобетона [5], [16]. Линейчатость поверхности позволяет упростить опалубку и армирование конструкции. В последние годы нашли применение деревянные, металлические и пластмассовые оболочки, а также комбинации из этих материалов.

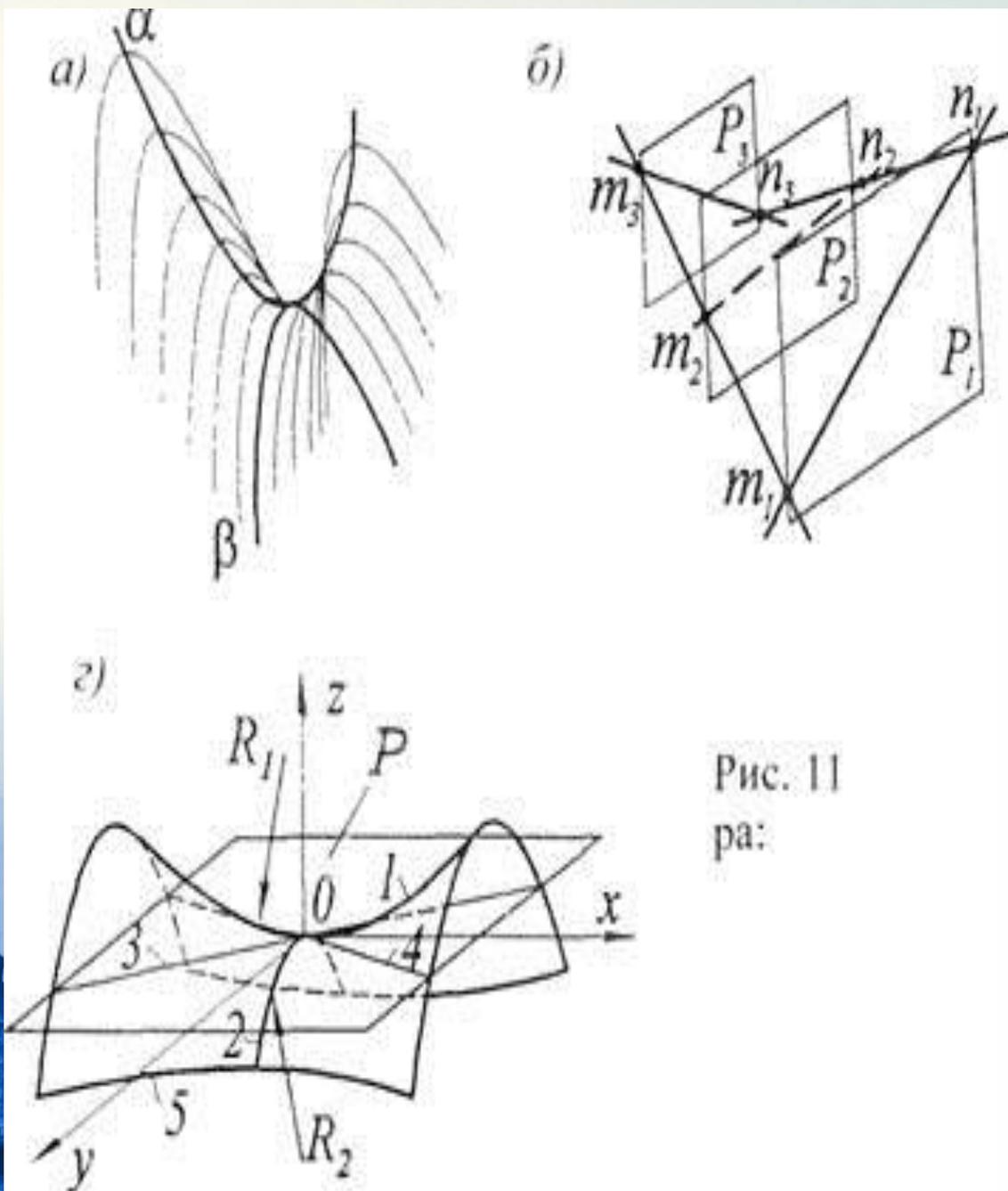


Рис. 11  
ра:

## 1. Способы образования поверхности гипара.

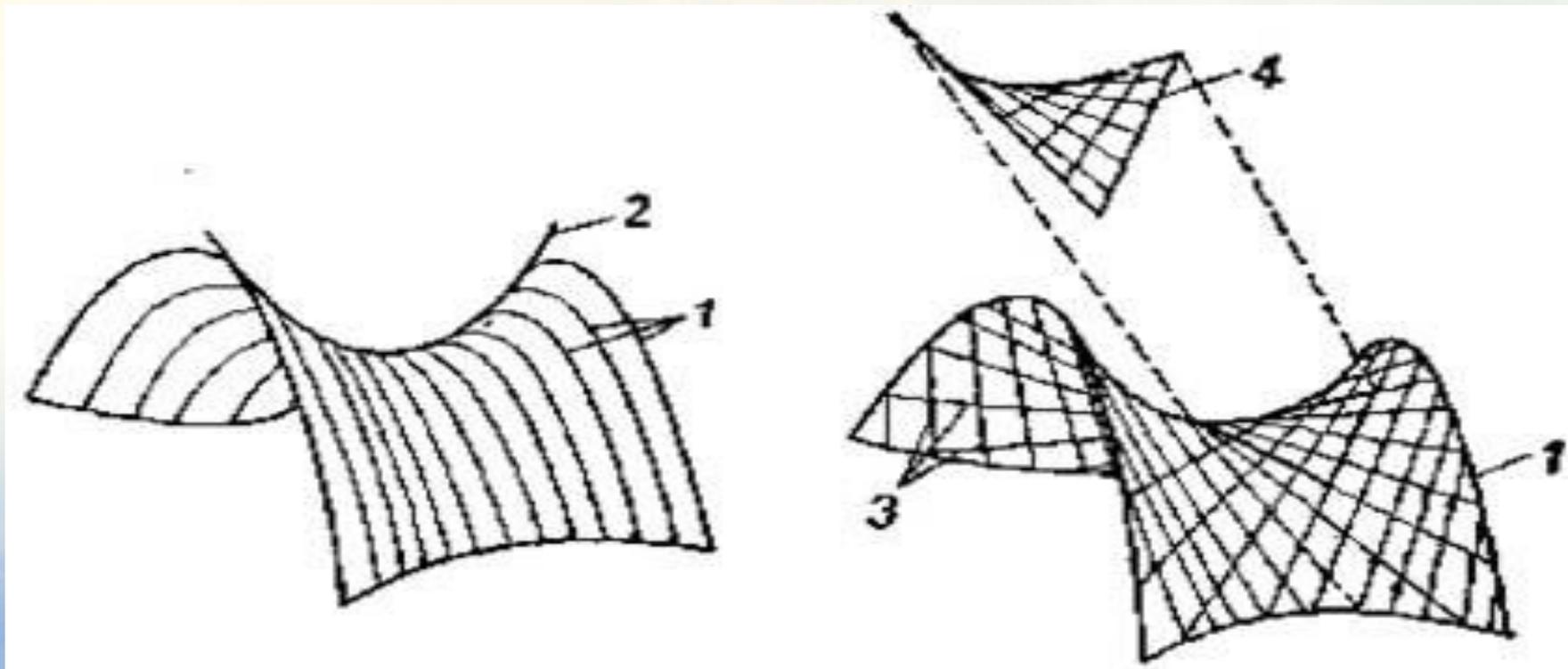
А, Г — образование поверхности переносом параболы;  
 Б — То же, прямой по скрещивающимся направляющим;  
 В — пространственный прямоугольник; /,  
 2 — параболы; J,  
 4 — прямые линии;  
 5 — Гипербола



- Гипар принадлежит к поверхностям двойкой разнозначной кривизны - центры его кривизны лежат по разные стороны поверхности. Используют три способа его графического построения .



# Гиперболический параболоид



- 1 – парабола с вершиной вверх; 2 – парабола с вершиной вниз; 3 – прямолинейные образующие; 4 – пространственный четырехугольник – гипар

# • Поверхность гипара может быть образована:

— плоскопараллельным перемещением образующей параболы по направляющей параболе (параболы имеют кривизны разного знака)

— скольжением образующей прямой  $N$ . По двум скрещивающимся в пространстве прямолинейным направляющим  $F$  и  $N$ .

— смещением по вертикали углов плоского четырехугольника, который становится пространственным.

# Покрытия из гипаров бывают

**ОДИНОЧНЫЕ**

**СОСТАВНЫЕ**

- *Покрытия* из гипаров бывают в виде сочетаний нескольких элементов оболочки, одно и многопролетными, Вдоль линий сопряжения, называемых коньками, устраивают ребра жесткости.



- В архитектурной практике чаще всего используются гипары

с прямолинейным  
контуром

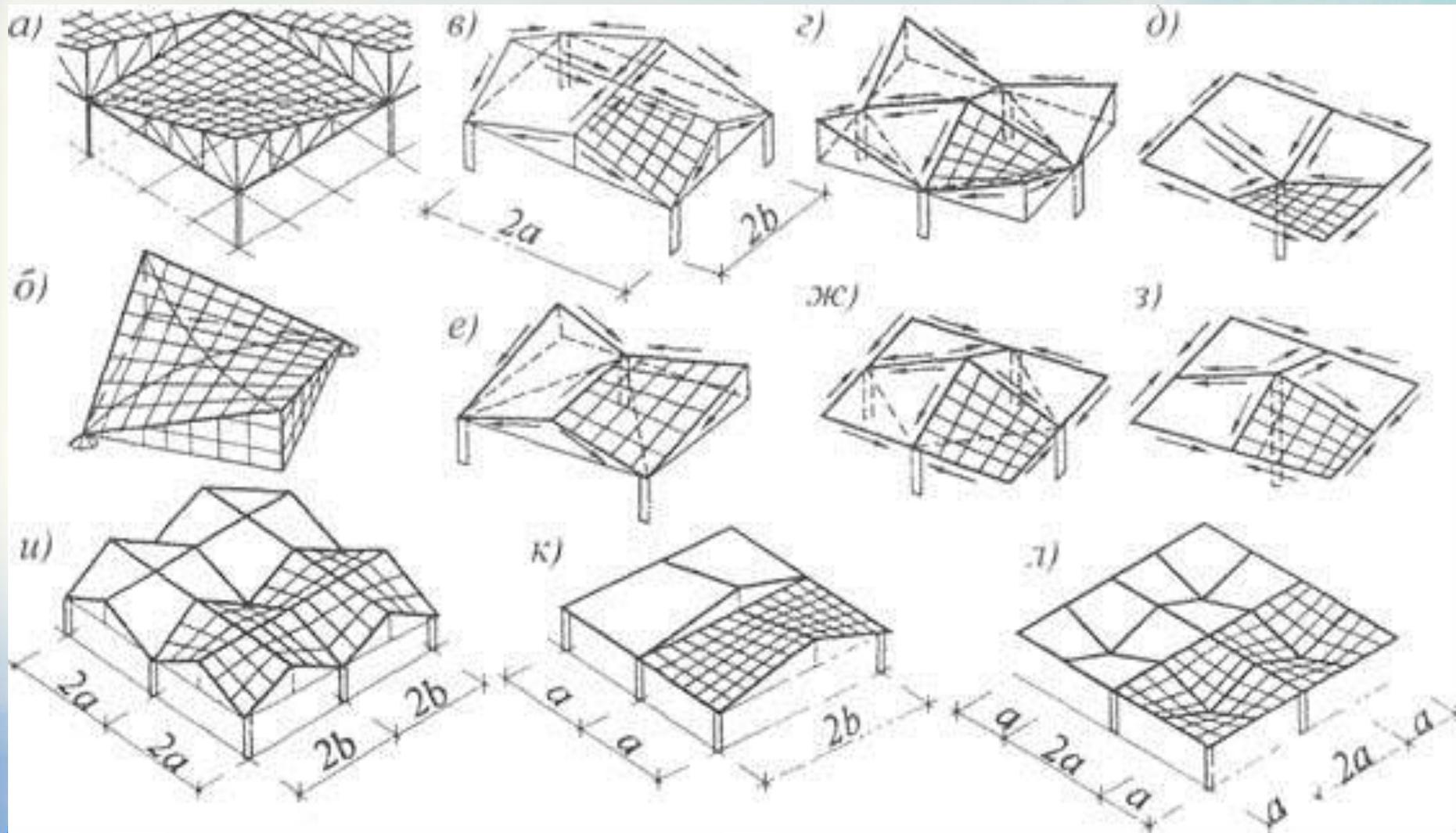
с криволинейным  
контуром из трех и  
более элементов



# Гипары имеют две разновидности:

в другом — линии главных кривизн параллельны сторонам основания

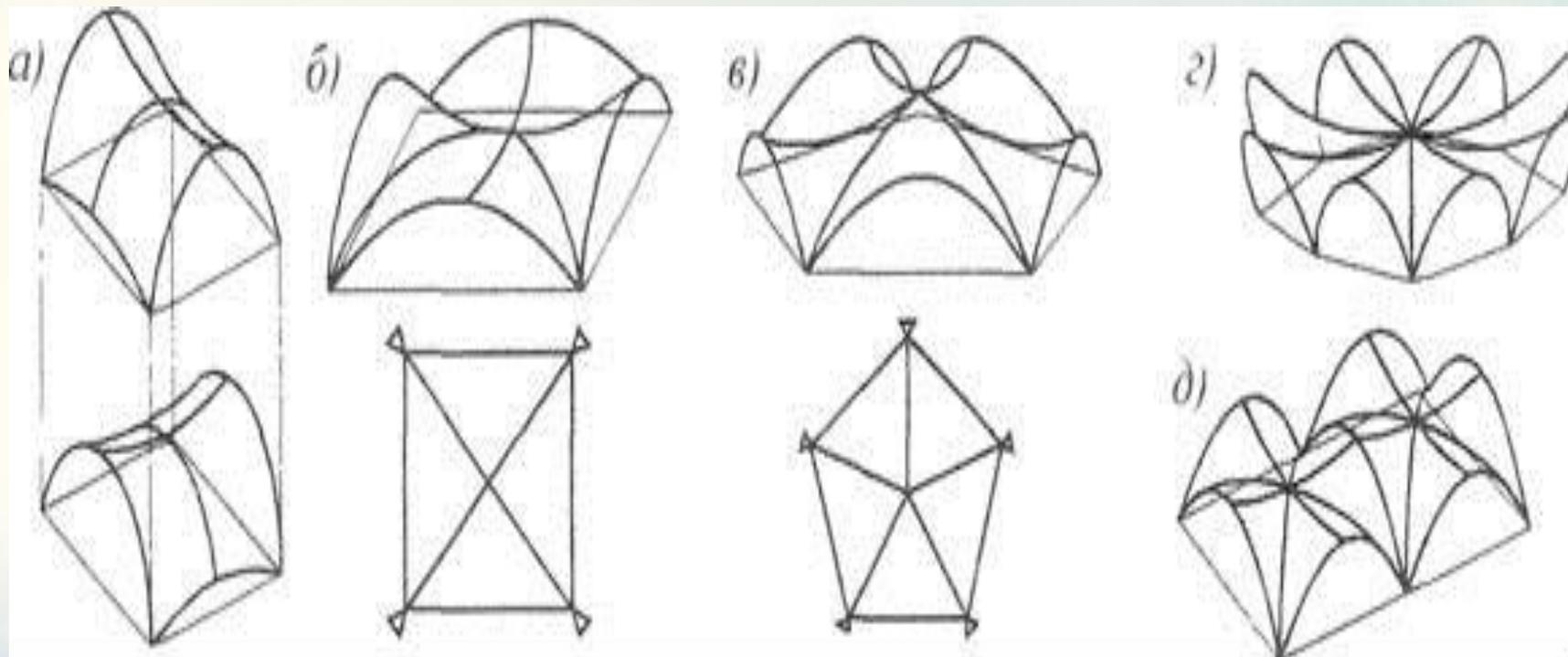
в одном случае линии главных кривизн поверхности направлены вдоль диагоналей основания



**Схемы покрытий из гипаров с прямолинейными краями:**

**А, б — одиночные гипары; В... З — составные однопролетные гипары; И... -л — составные многопролетные**

- ◎ Гипары проектируют с опиранием по контуру на стены, фермы, арки, рамы, балки и другие конструкции, называемые диафрагмами, кроме того, они могут иметь точечное опирание в углах на пилоны (контрфорсы) или фундаменты.
- ◎ Оболочки в покрытиях деформируются совместно с диафрагмами, которые в своей плоскости обладают большой жесткостью или не деформируемы вообще. Диафрагмы из своей плоскости считаются гибкими. Поэтому значения действительных усилий в приконтурных зонах покрытия получаются различными, так как зависят от способа опирания оболочки.



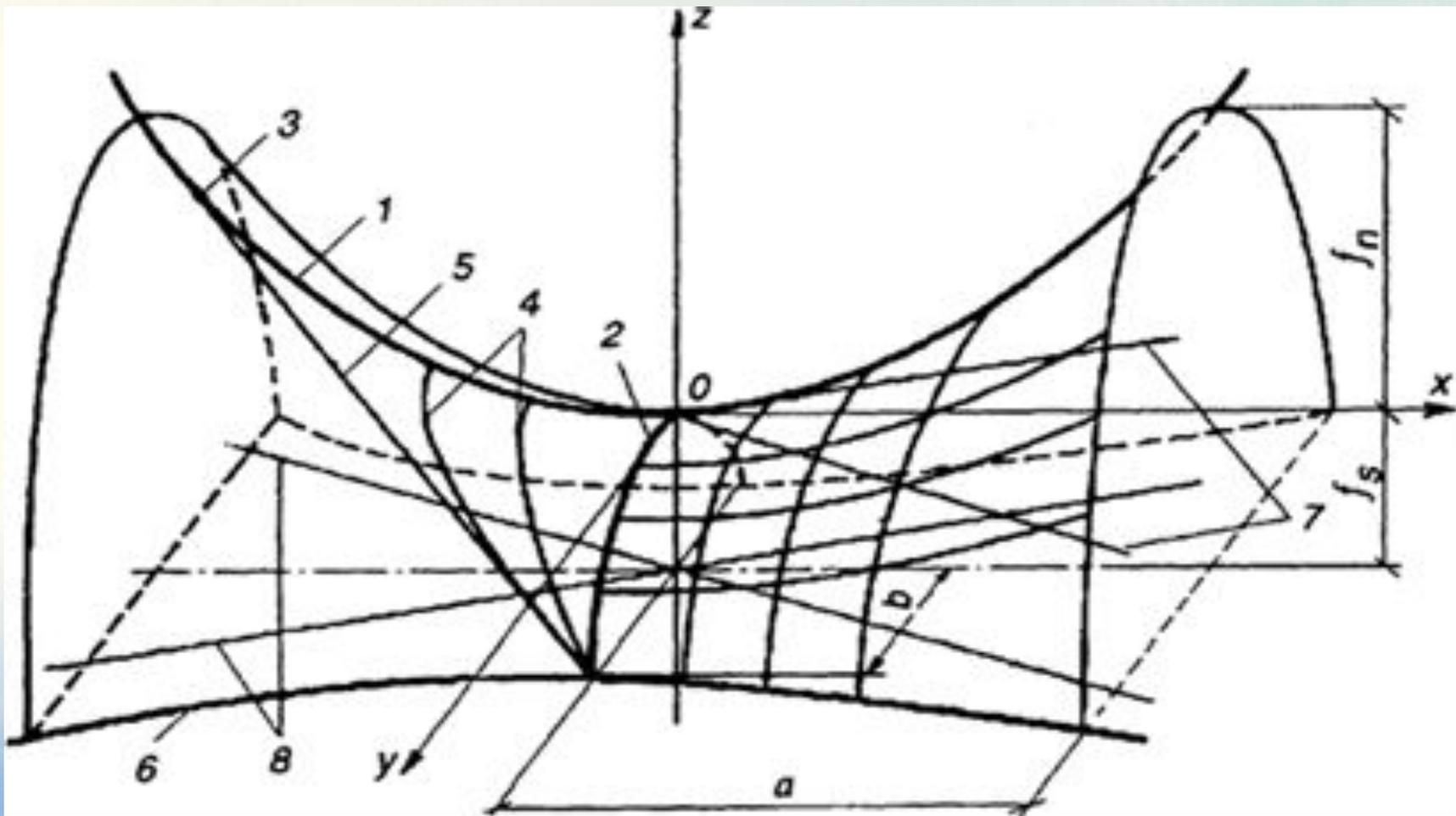
*Схемы покрытий из гипаров с криволинейным контуром:*

- ⊙ А — схема образования крестового свода: б, в,  
Г — однопролетные оболочки; Д — многопролетная оболочка

# Компоновка и работа несущих систем.

Такие системы образуют двумя взаимно перпендикулярными семействами параллельных нитей (несущих и стабилизирующих); поверхность покрытия при этом имеет седловидную форму. Усилия предварительного напряжения в стабилизирующих нитях передаются на несущие нити в виде сосредоточенных сил, приложенных в узлах пересечения. Эти силы назначаются такими, чтобы при отсутствии временной нагрузки они имитировали ее действие и не позволяли несущим нитям вернуться к первоначальной форме. Этим обеспечивается стабилизация формы покрытия.

Постоянная нагрузка на покрытие - равномерно распределенная, снег также распределен по покрытию примерно одинаково, поэтому форма несущей нити должна соответствовать квадратной параболе. Стабилизирующие нити, призванные имитировать временную и, следовательно, равномерно распределенную нагрузку, также должны иметь формы квадратных парабол. Этому отвечает поверхность в виде гиперболического параболоида - "гипара"



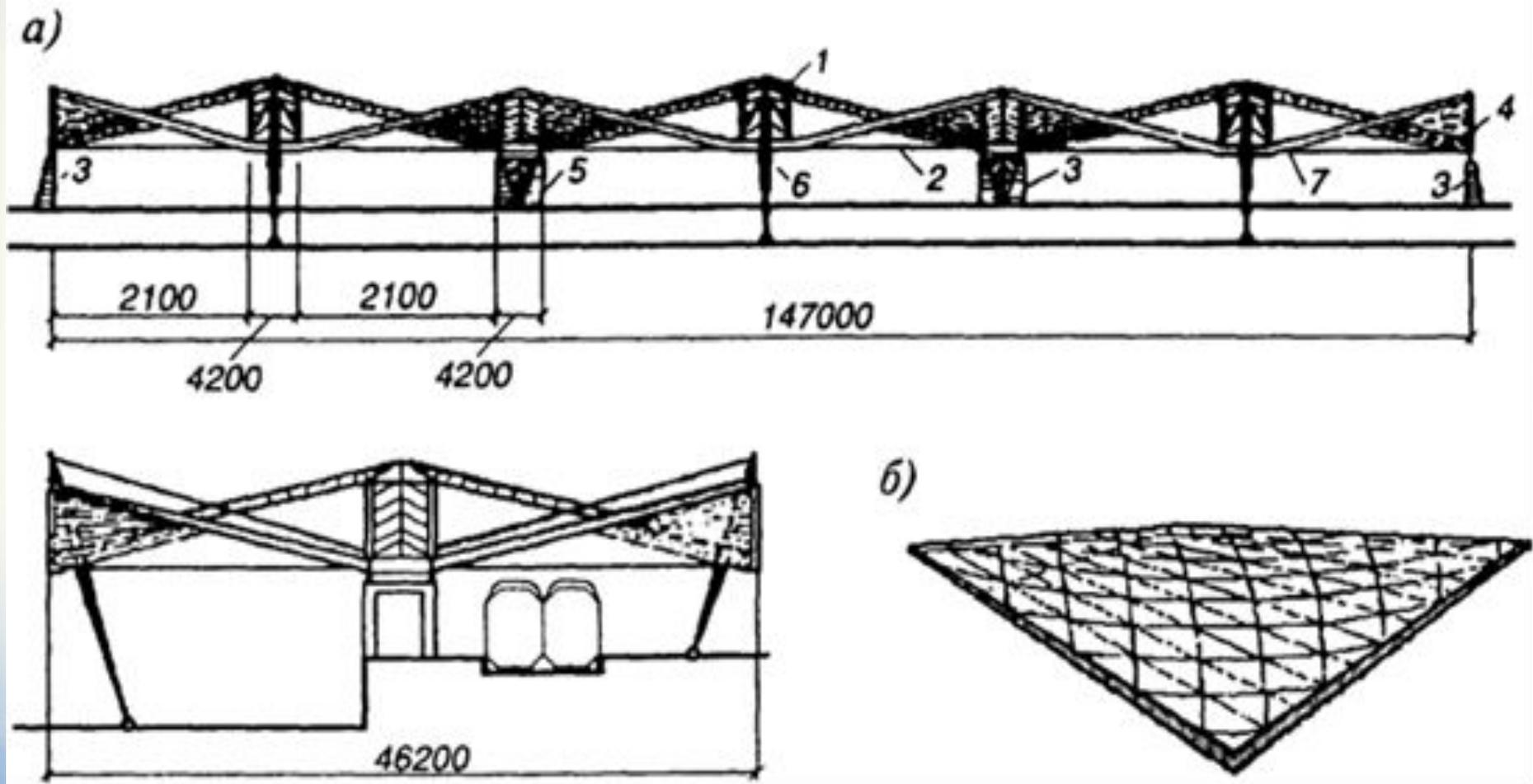
***Гиперболический параболоид:***

1 - главная несущая парабола; 2 - главная стабилизирующая парабола; 3 - точка касания секущей плоскости с главной несущей параболой; 4 - гиперболы; 5 - след секущей плоскости с прямолинейной образующей; 6 - главная гипербола; 7 - прямолинейные образующие в точке 0; 8 - асимптоты главной гиперболы

© Сечения гипера вертикальными плоскостями, параллельными главным координатным плоскостям, дают систему параллельных квадратных парабол с одинаковым отношением  $f^2 / l$ , вогнутых в плоскостях, параллельных плоскости  $zOx$ , и выпуклых в плоскостях, параллельных плоскости  $zOy$ . Сечения поверхности наклонными плоскостями, параллельными оси  $Oy$ , дают гиперболы. По мере увеличения угла наклона секущей плоскости по отношению к вертикали гиперболы заостряются и переходят в две прямые, когда секущая плоскость станет касательной к главной параболе,

- ◎ Лежащей в плоскости  $zOx$ . Секущие плоскости, параллельные плоскости  $xOy$ , дают в сечении гиперболы, причем в секущей плоскости, проходящей через центр поверхности (точка  $O$  по оси  $Oz$ ), гипербола превращается в две прямые. Кроме того, через любую точку гипара можно провести две перекрещивающиеся в этой точке прямые, лежащие на данной поверхности.
- ◎ Выбирая на поверхности гипара произвольный замкнутый контур при сохранении направления несущих нитей параллельно плоскости  $zOx$  и стабилизирующих - параллельно плоскости  $xOy$ , вы можете создавать покрытия самой причудливой формы с художественно выразительными решениями зданий различного функционального назначения. Причем, все нити каждого семейства (несущих и ограждающих) будут работать одинаково и иметь постоянные для каждой нити отношения

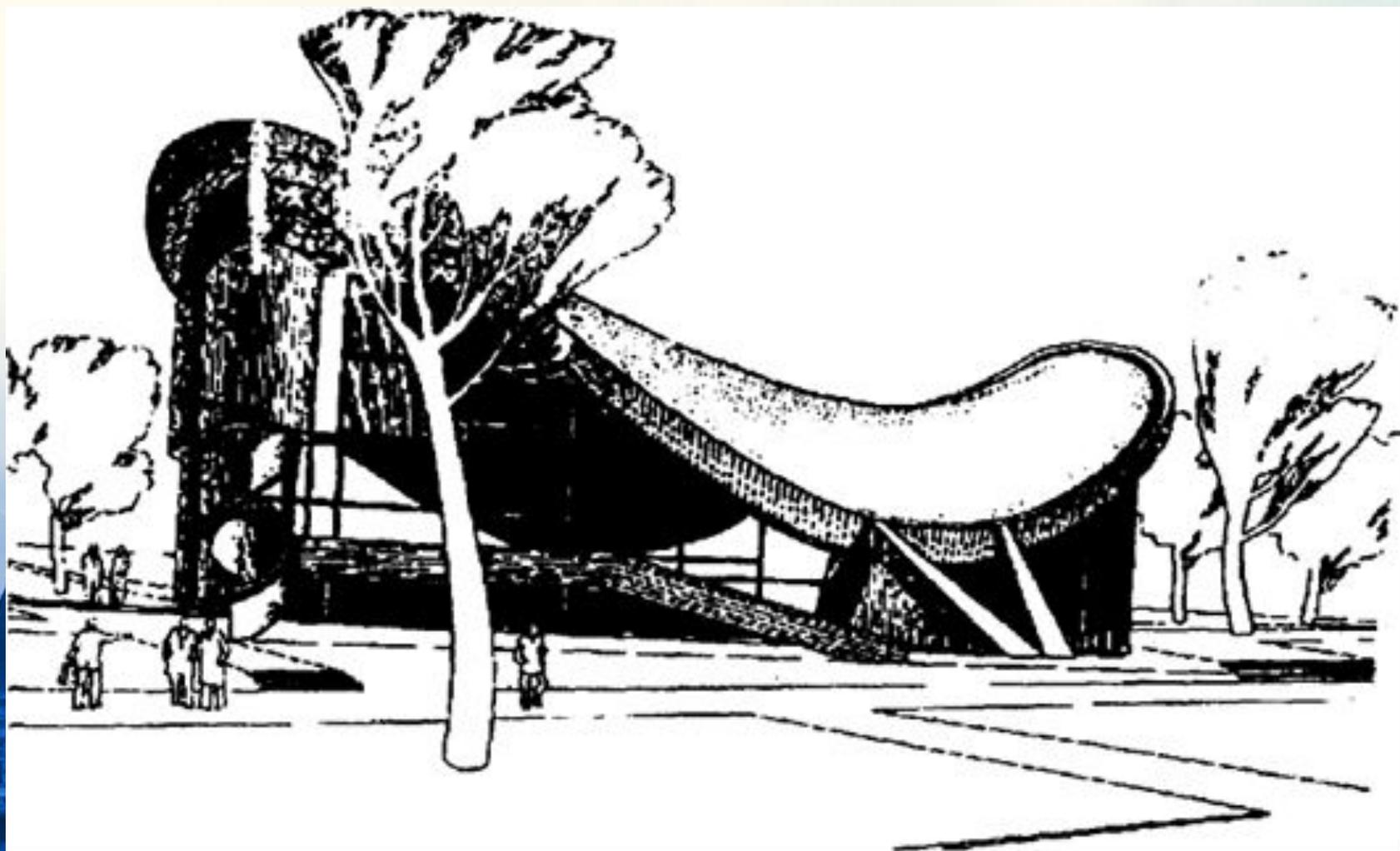
- ◎ Если придать арке форму параболы, то будут нарушены характерные
- ◎ Для гипара соотношения, поэтому нужен выбор: либо создавать сеть нитей в форме гипара и реализовать все присущие ему преимущества, теряя прелести плоской параболической арки, либо обеспечивать хорошую работу опорного контура, несколько теряя преимущества гипара. Обычно следуют второму "либо", так как некоторое нарушение условий (8.82) не очень сильно влияет на работу покрытия. Арки выполняют преимущественно из железобетона, их собственный вес частично или полностью погашает распор нитей. Равновесие покрытия обеспечивают колонны, стойки витража или оттяжки в плоскости наружных стен. Для опорного контура можно использовать не две, а больше арок. Широко применяют систему из трех арок. При этом среднюю арку устанавливают вертикально, а боковые арки - горизонтально или наклонно.
- ◎ Если угол наклона секущей плоскости к вертикали равен  $\varphi = \arctg 1/4f$ , то гипербола преобразуется в две прямые, что позволяет организовать прямолинейный опорный контур. На рис. 8.42 показано многопролетное покрытие над железнодорожной платформой, выполненное из гипаров с прямолинейными опорными контурами.



**Покрытие над железнодорожной платформой в Тилбурге (Нидерланды):**  
 а - продольный и поперечный разрезы; б - схема оболочки; 1 - нить; 2 - стальная затяжка; 3 - железобетонная опора; 4 - решетка покрытия; 5 - ленточный фонарь верхнего света; 6 - стальной пилон; 7 - опорный контур гипара

- Гипар является лучшей формой поверхности из сетки нитей с точки зрения работы покрытия, поэтому его следует использовать преимущественно для капитальных сооружений с относительно большой постоянной нагрузкой. С точки зрения удобства монтажа предпочтительнее так называемая самообразующая поверхность, в которой нити расположены по геодезическим линиям на поверхности, т.е. по линиям кратчайших расстояний между двумя соседними точками. В этом случае нити расположены в непараллельных друг другу плоскостях. Их расчет производят по условным приближенным схемам.

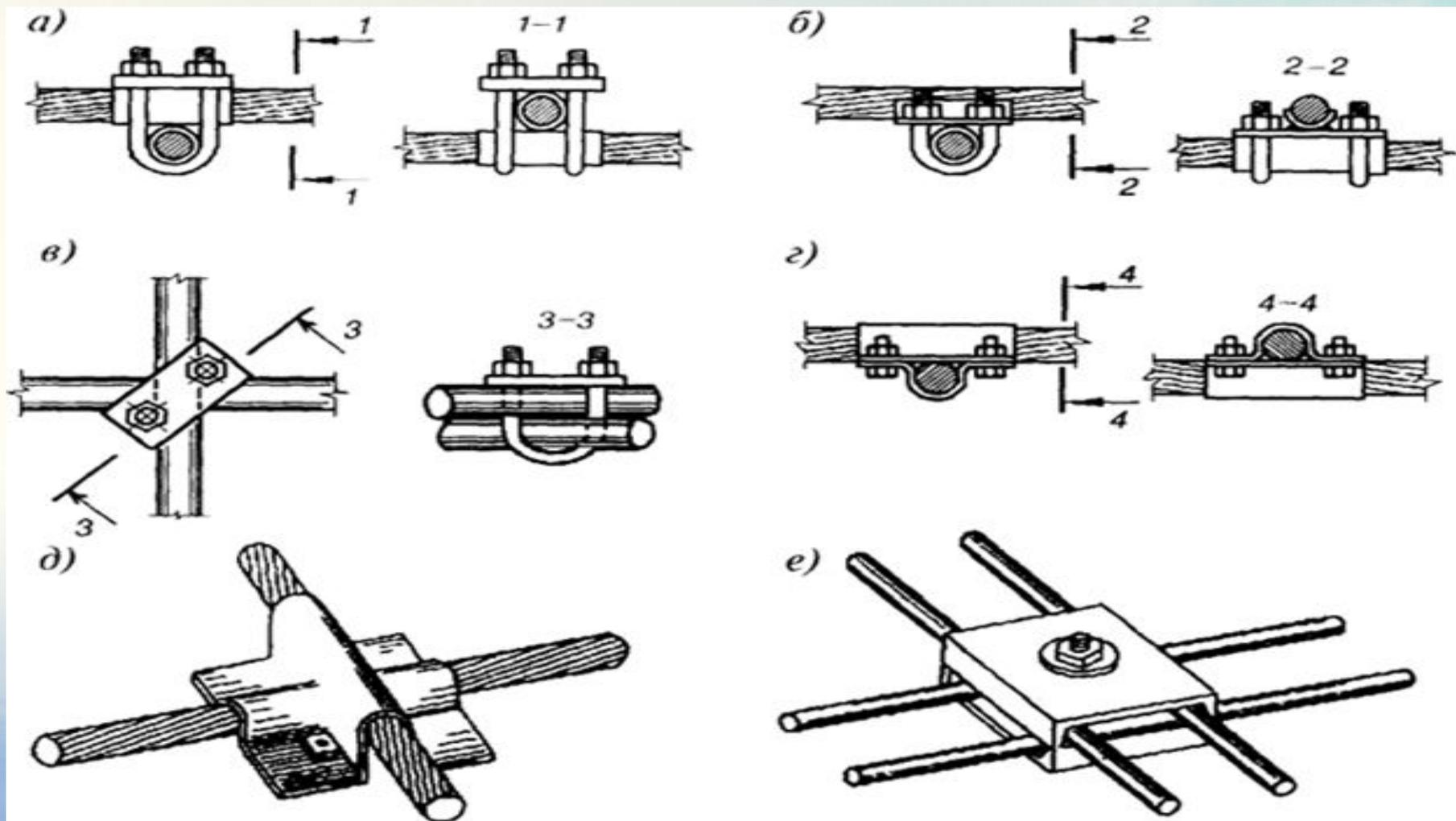
# Гипар с криволинейным контуром.



- ◎ Нити в сетке располагают на равных расстояниях. Шаг несущих и стабилизирующих нитей назначают в зависимости от конструкции кровли от 1 м для тентовых и пленочных покрытий до 2...3 м для щитовых покрытий.
- ◎ В узлах пересечения нити скрепляют друг с другом хомутами или накладками (рис. 8.44). Конструкция узлов пересечения несущих и стабилизирующих нитей должна обеспечивать их взаимное проскальзывание во время сборки и предварительного напряжения сети, но надежно закреплять их в период эксплуатации. При использовании двойных хомутов из круглой стали (рис. 8.44, а) канаты защищают от повреждений кожухами из оцинкованной стали или капрона. Гайки хомутов окончательно затягивают после предварительного напряжения сети. Если доля временной нагрузки относительно постоянной мала, незначительны скатные составляющие узловых нагрузок и для надежной фиксации канатов в узлах достаточно сил трения, то стабилизирующие нити можно укладывать в седла из отрезков труб, приваренных к пластинам (рис. 8.44, б). В этом случае отпадает надобность в двухкратном затягивании гаек. Штампованные стальные накладки в узлах пересечения канатов и опорные листы с хомутами при нитях.



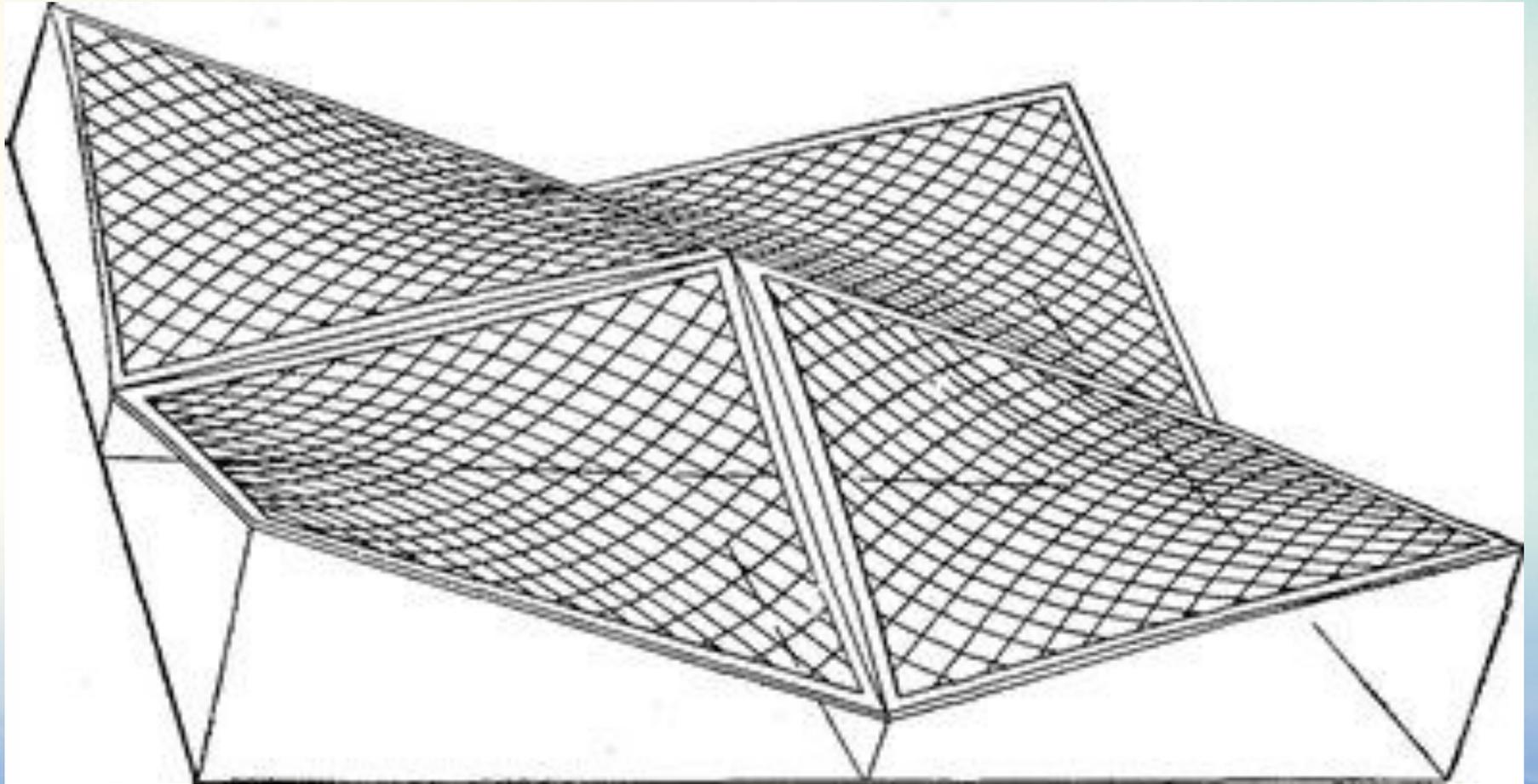
© из круглой стали (рис. 8.44, г...е) одновременно используют как столики для плит кровли. Одиночные штампованные накладки должны иметь два желоба. Накладки с одним желобом устанавливают вдвоем. Для закрепления парных арматурных стержней применяют гнутые накладки со стяжным болтом (рис. 8.44, е). Кровлю по нитям делают легкой конструкции, как в двухпоясных системах покрытий (см. рис. 8.35).



**Сопряжения нитей в перекрестных системах:**

а - на двойных хомутах; б - на двойных хомутах с "седлом"; в - на одиночных хомутах; г - с двумя штампованными накладками; д - с одной штампованной накладкой; е - при парных нитях

- Стрелки провеса по главным осям поверхности принимают для несущих нитей  $f_n = (1/8...1/15) l_n$ , для стабилизирующих -  $f_s = (1/10...1/25) l_s$ . Увеличение стрелки несущих и уменьшение стабилизирующих нитей ведет к уменьшению прогибов покрытия и усилий в несущих нитях, но одновременно увеличивает изгибающие моменты в опорной конструкции на стадии предварительного напряжения, что нежелательно.
- Наиболее индустриальным методом предварительного напряжения является одновременное натяжение всей сети. В этом случае нити закрепляют в опорном контуре наглухо без использования регулировочных шайб, нарезных приспособлений и других устройств. Натяжение в гипарах осуществляют путем опускания конструкций опорного контура, например поворота арки вокруг опорного шарнира. Недостатками такого
- способа предварительного напряжения являются усложнения конструкции опорного контура и необходимость очень точного обеспечения длин исходных заготовок всех нитей.
- Предварительное напряжение сети путем последовательного натяжения каждой стабилизирующей нити в отдельности является наиболее простым и распространенным методом. При таком способе один конец стабилизирующей нити закрепляют наглухо (см. рис. 8.19, а, б), а на другом конце предусматривают приспособление для механического натяжения динамометрическим гаечным ключом при усилии до 350 кН (см. рис. 8.34) или домкратом (см. рис. 8.24, б)



- Байтовое покрытие, состоящее из четырех гиперболических параболоидов.

- Если проанализировать формообразование поверхности одного прямого гиперболического параболоида на квадратном плане то можно заметить, что его поверхность условно членится на четыре участка, каждый из которых также представляет собой параболоид. Очевидно, такая поверхность не имеет разрыва кривизны, а линии сопряжения участков (в данном случае асимптоты — линейчатые образующие) являются прямыми линиями и находятся в одной горизонтальной плоскости. Следуя замеченной особенности и взяв в качестве основной ячейки гиперболический параболоид на ромбическом плане, можно создать более сложные кусочно-гладкие поверхности. При этом количество сопрягаемых параболоидов должно быть четным и высотные отметки внешних углов опорного контура должны чередоваться. Направляя ванты по линиям максимальных кривизн каждого параболоида, достигаем полного соответствия между структурой сети и поверхностью

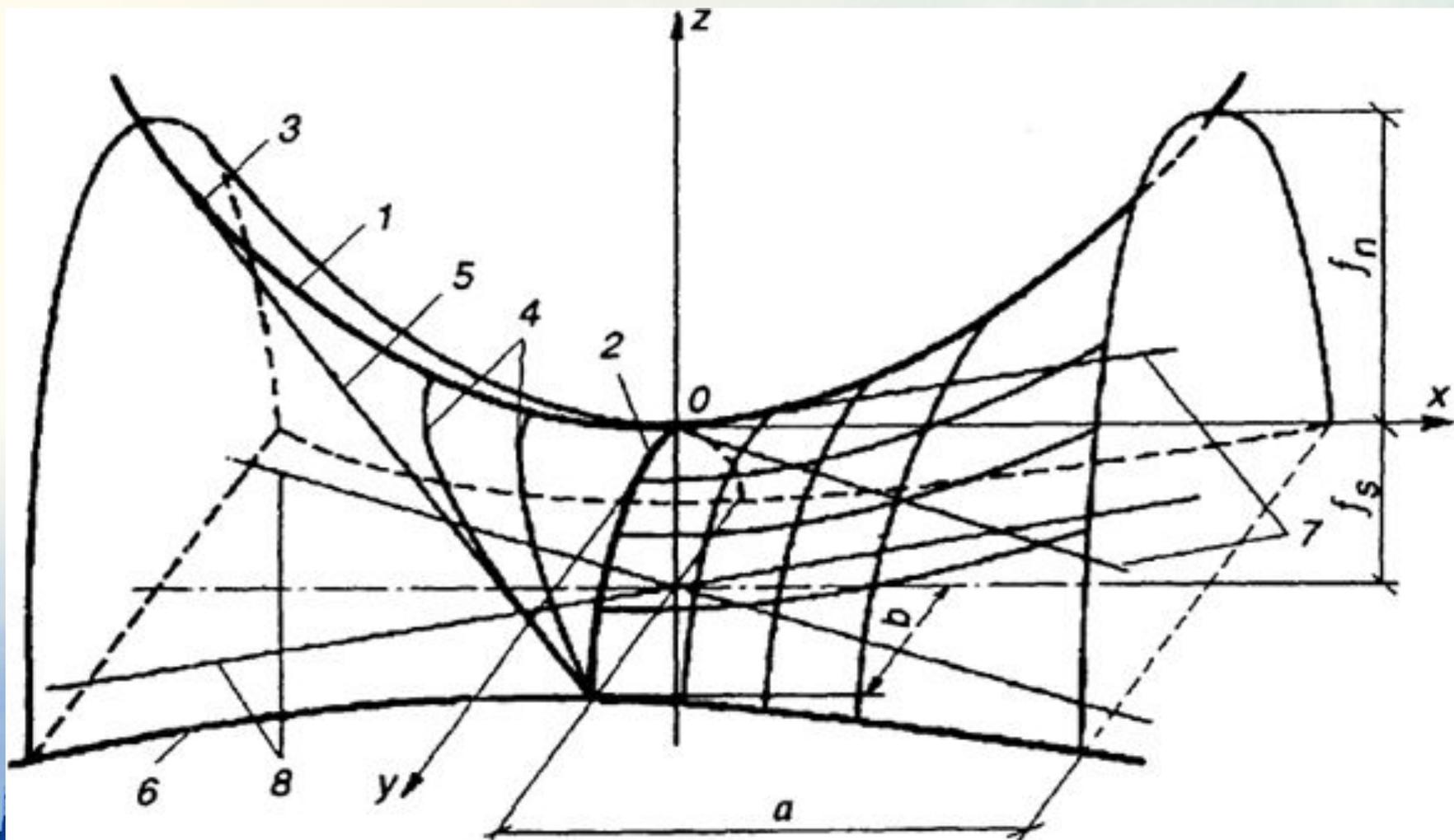
# Уравнение гиперболического параболоида

- Поверхность, представляемая уравнением при ( $p > 0$ ,  $q > 0$ ), носит название гиперболический параболоид. Сечения плоскостями  $XOZ$  и  $YOZ$  (главные сечения — это параболы)



- **Параболы (2 и 3) обращены вогнутостью в противоположные стороны. Поверхность имеет седлообразный вид.**
- **Гиперболический параболоид не имеет центра. Он симметричен относительно плоскостей  $XOZ$  и  $YOZ$  и относительно оси  $OZ$ . Прямая  $OZ$  называется осью гиперболического параболоида.**





# Пример 1.



**Экспериментальные исследования оболочек типа гиперболического параболоида размером  $6 \times 18$  и  $12 \times 18$  м (г. Черногорск) и  $18 \times 18$  м (г. Щекино, Тульской области), а также опыт возведения таких оболочек позволили перейти к их сооружению и для больших пролетов.**



Bundesarchiv, Bild 183-H0929-0018-001  
Foto: Ritter, Steffen | 29. September 1969

- © Примером может служить покрытие стоянки автомашин на Ачинской районной базе строительной индустрии. Покрытие секции 30x30 и образуется при сопряжении четырех «лепестков» 15x15 м, изогнутых в виде гиперболического параболоида. Совместная работа «лепестков» обеспечивается замоноличиванием швов между ними, т. е. созданием коньковых балок. Оболочка собирается из одного типа плит и одного типа ферм-диафрагм.
- © Основной конструктивный элемент покрытия (плита 3x3 м толщиной 40 мм) представляет собой равносторонний гиперболический параболоид, окаймленный по контуру ребрами высотой 120 мм. По контуру плита имеет шпонки и выпуски арматуры. Фермы-диафрагмы треугольного очертания с переменным сечением верхнего пояса. Для сопряжения с оболочкой верхний пояс имеет выпуски арматуры и шпонки.

- Плиты изготавливаются и о поточно-агрегатной технологии. Фермы делаются на стенде. Оболочка собирается на проектной отметке. Вдоль конька устанавливаются леса рамной конструкции, состоящие из решетчатого ригеля с раздвижными опорами, которые снабжены жесткими винтовыми стяжками для рихтовки и раскружаливания. Леса передвигаются по рельсам вдоль монтируемых пролетов. Плиты до начала монтажа укрупняются в полосы 3x15 м путем сварки выпусков. Поднимаются полосы плит инвентарными фермами-траверсами, которые здесь и остаются до полного замоноличивания оболочки.
- Трудозатраты на монтаж 1 м<sup>2</sup> покрытия составляют 0,9, на изготовление—1,4 чел.-часа.
- При строительстве оболочек типа гиперболических параболоидов с большими пролетами следует, как известно, учитывать, что при односторонних нагрузках конструкция не может быть уравновешена одними мембранными факторами и возникают значительные изгибающие моменты.

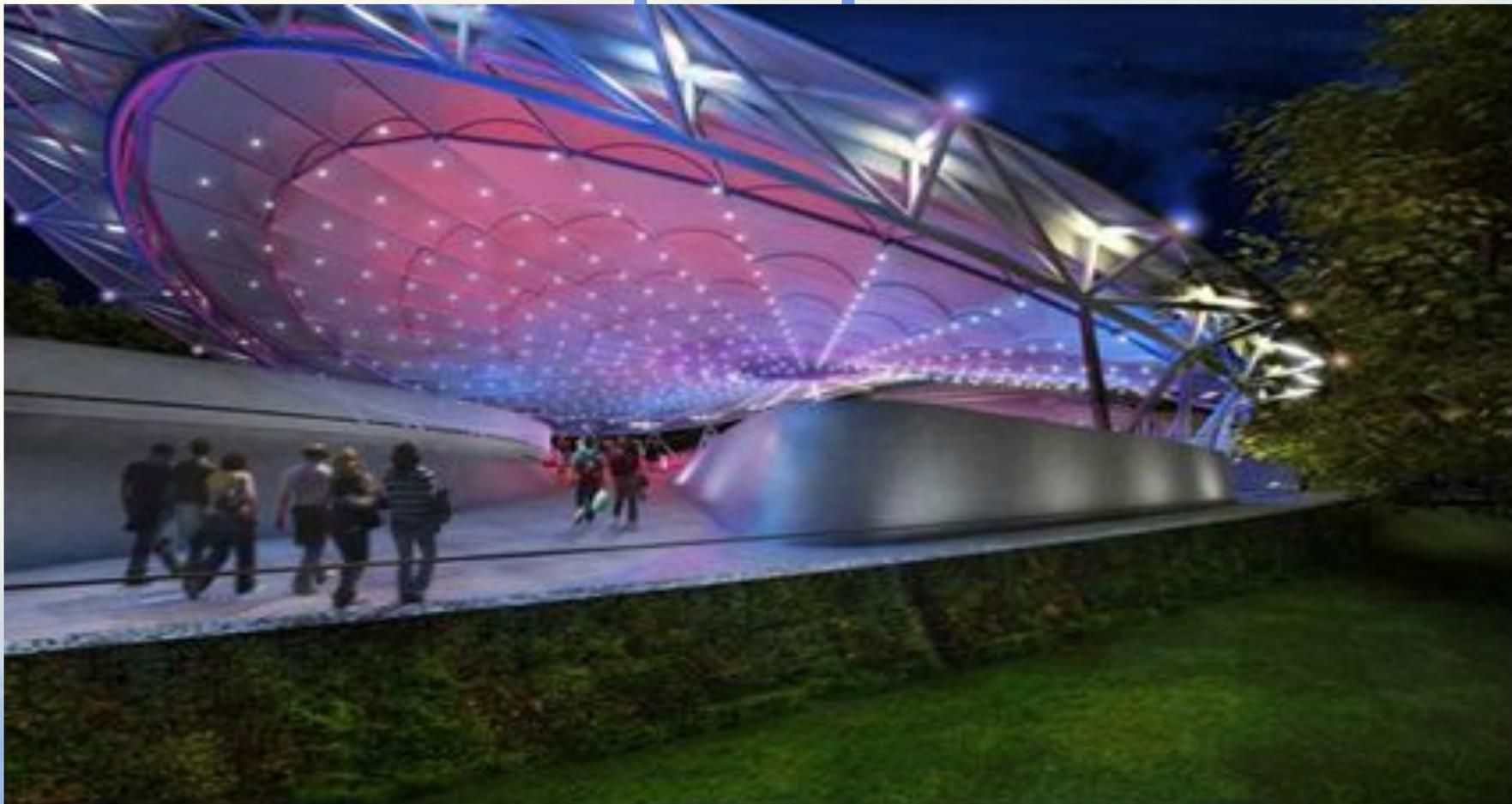


- Если при малых пролетах (до 18 м) это обстоятельство не было столь ощутимым, то с увеличением пролета (до 30 м и более) относительная гибкость плит и контурных ферм повышается. Возросшие изгибающие моменты уже не могут быть восприняты без специальных конструктивных изменений. Следовательно, расчет по безмоментной теории становится неприемлемым.

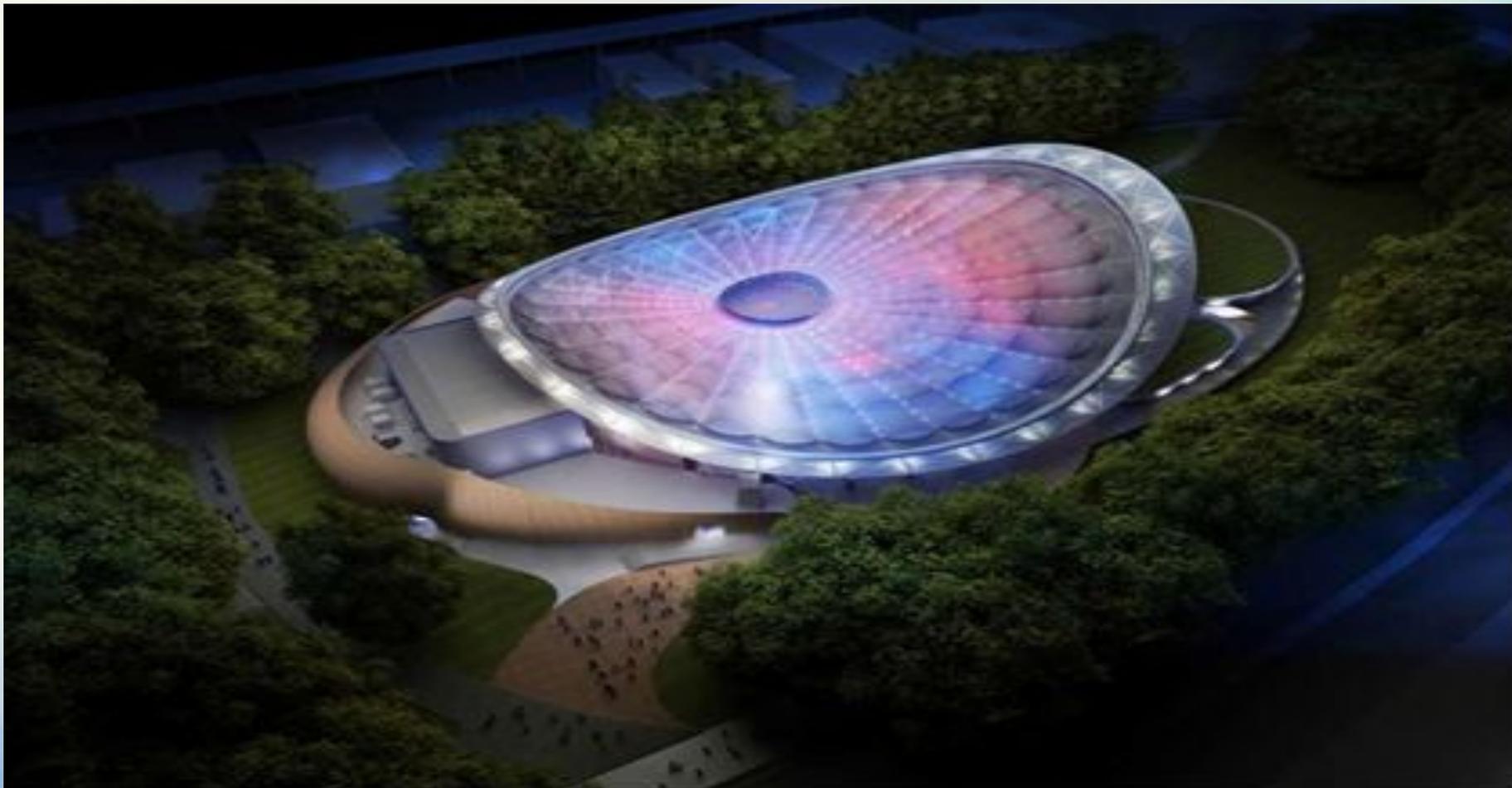
- Для разработки и проверки моментной теории предприняты специальные теоретические и экспериментальные исследования. Проведены испытания шести моделей. Установлена степень влияния изгибной жесткости, податливости опорного контура в горизонтальной плоскости, влияния смещения центра оболочки на ее напряженное состояние и влияния неразрезности оболочек.

- Результаты исследований позволили внести ряд предложений по расчету такого типа конструкций и их усовершенствованию. Так, значительное уменьшение величины прибалочных моментов может быть достигнуто введением неразрезности оболочек. Изгибающие моменты от загрузки четверти оболочки могут быть уменьшены на 50% постановкой диагональных затяжек.

## Пример 2

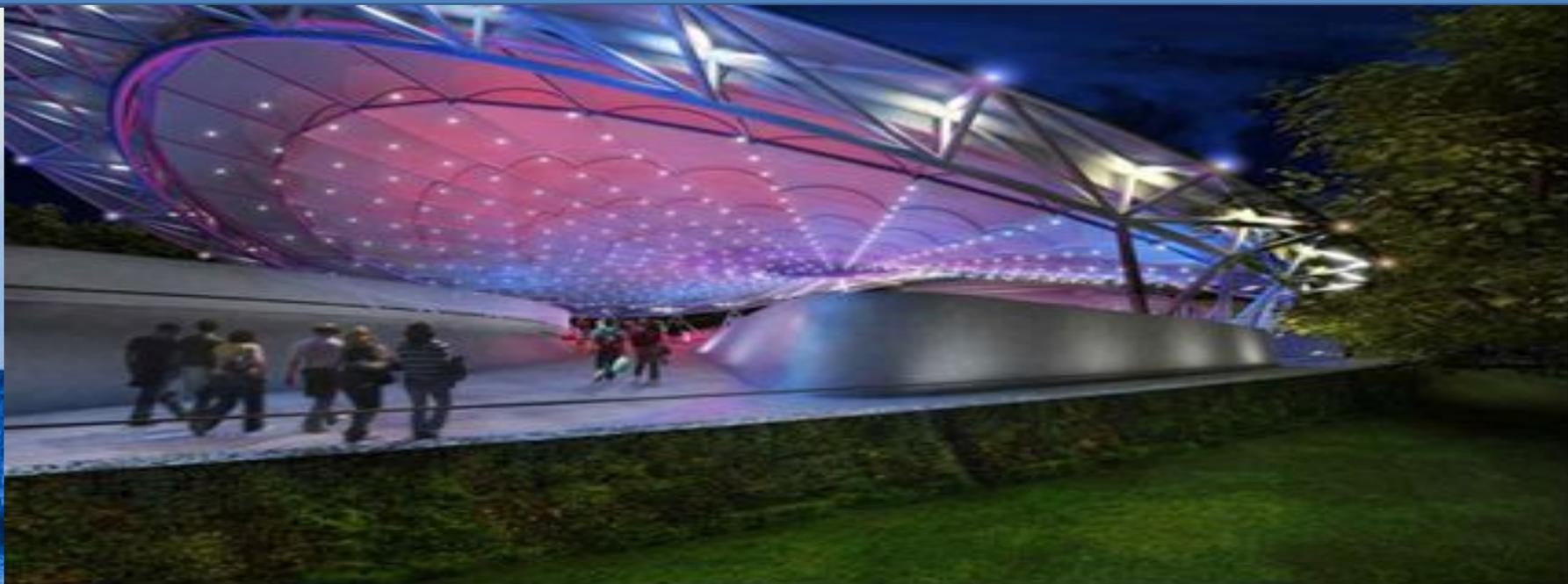


- **Николас Гримшо представил свой проект открытой сцены для парка Эссер-Леви в Нью-Йорке.**



Названная Кони-Центр, она заменит существующую эстраду, уже пришедшую в негодность и станет местом проведения концертов более высокого уровня, чем раньше: она рассчитана на 8 000 зрителей. Этот летний театр должен оживить всю рекреационную зону полуострова Кони-Айленд, которая потеряла популярность после закрытия в прошлом году последнего парка аттракционов.

В планах властей города - реконструкция и самого парка, и окружающих его жилых районов, и Кони-Центр будет первым шагом в этом направлении. Театр будет защищать от солнца и дождя облегченная крыша в форме гиперболического параболоида, сооруженная из металлических конструкций и полупрозрачного оргстекла. Для публики будет предусмотрено 5 000 съёмных мест, а также газон, рассчитанный на ещё 3 000 зрителей. Конфигурацию расположения рядов можно будет менять, что позволит использовать Кони-Центр для самых разных мероприятий. Зимой все сидения будут убраны, и театр превратится в каток.



На русском/казахском/ английском	Пояснение
Гипары Гипар hуpar	это седловидные висячие покрытия, сформированные в решетчатые мембраны двумя видами нитей
Поверхность Беті surface	Наружная сторона чего либо.
Гипербола Гипербола Hyperbole	плоская кривая второго порядка.
Парабола Парабола Parabole	<u>геометрическое место точек</u> геометрическое место точек, равноудалённых от данной <u>прямой</u> геометрическое место точек, равноудалённых от данной прямой(называемой <u>директрисой</u> геометрическое место точек, равноудалённых от данной прямой(называемой директрисой параболы) и данной <u>точки</u> геометрическое место точек,

# Литература.

- **ВАРВАК П.М., ВАРВАК М.Ш., ДЕХГЯРЬ А.С., РАССКАЗОВ А.О.** Предельное равновесие оболочек отрицательной гауссовой кривизны. М.: Стройиздат. - В кн.: **Пространственные конструкции здания и сооружений, 1970, вып. I, с. 54-59.**
- **ВАРВАК П.М., ВАРВАК М.Ш., ДЕХТЯРЬ А.С., РАССКАЗОВ А.О.** Несущая способность железобетонных оболочек отрицательной гауссовой кривизны. В кн.: **Труды УН всесоюзной конференции по теории пластин и оболочек, 1970, с. 634637.**
- **ЛАУЛ Х.Х., ПУГАЛ Я.П.** О расчете пологих деревянных гипаров. В кн.: **Труды Таллинского ПИ, 1975, В 384, с. 1928.**
- **МУХАДЗЕ Л.Г., КАШМАДЗЕ Р.В.** Расчет оболочек в форме гиперболических параболоидов при сейсмическом воздействии. В кн.: **Реферативный сборник "Сейсмостойкое строительство (отечественный и зарубежный опыт)". ЦИНИС, 1975, вып. 5, с. 6-9.**
- **МИЛЕЙКОВСКИЙ И.Е., КУПАР А.К.** Гипары. Расчет и проектирование пологих оболочек в форме гиперболических параболоидов. М.: Стройиздат, 1978, 222 с., илл.
- **СТОЯНОВ В.В.** Клеефанерная оболочка типа гиперболического параболоида. В кн.: **Общие вопросы строительства. Отечественный опыт/Реферативный сборник. ЦИНИС Госстроя СССР, 1974, & 10, с. 19-23, илл.**
- **СТОЯНОВ В.В.** Исследование модели клеефанерной оболочки типа гиперболического параболоида. М.: Изв.высш.уч. зав., 1975, Je 10, с. 21-23, илл.
- **СТОЯНОВ В.В.** Опыт возведения клеефанерной гиперболической оболочки. В кн.: