

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный  
аграрный университет имени И. Т. Трубилина»

В.Д. Таратута, А. М. Бегельдиев

БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ  
И ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Учебное пособие

Краснодар  
КубГАУ  
2017

**УДК 692.4 (075.8)**  
**ББК 38.44**

**T19**

**Р е ц е н з е н т ы :**

**В. Н. Малюк** – председатель Правления Краснодарской региональной организации Общероссийской общественной организации «Союз Архитекторов России», советник Российской Академии архитектуры и строительных наук, профессор Международной академии Архитектуры, заслуженный архитектор Кубани;

**Ю. В. Рысин** – заслуженный архитектор Кубани, член-корреспондент Российской академии архитектуры и строительных наук, Заслуженный архитектор Российской Федерации, действительный член Международной академии архитектуры, почетный строитель России

**Таратута В.Д.**

**T19** Большепролетные конструкции промышленных и гражданских зданий и сооружений : учеб. пособие / В.Д. Таратута, А.М. Бегельдиев. – Краснодар : КубГАУ, 201. – 187 с.

**ISBN978-5-00097-257-1**

В учебном пособии систематизированы и описаны несущие большепролетные конструкции, применяемые в общественных, производственных и сельскохозяйственных зданиях и сооружениях.

Предназначено для студентов специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений», а также для преподавателей, аспирантов, студентов-бакалавров, магистрантов, обучающихся по строительным специальностям.

**УДК 692.4 (075.8)**  
**ББК 38.44**

**ISBN978-5-00097-257-1**

© Таратута А. Д.,  
Бегельдиев А. М., 2017  
© ФГБОУ ВО «Кубанский  
государственный аграрный  
университет имени  
И. Т. Трубиллина», 2017

## Оглавление

|      |                                                                               |    |
|------|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1    | ИСТОРИЯ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ .....                                     | 3  |
| 2    | ПЛОСКОСНЫЕ НЕСУЩИЕ КОНСТРУКЦИИ .....                                          | 13 |
| 2.1  | Балки .....                                                                   | 13 |
| 2.2  | Фермы .....                                                                   | 18 |
| 2.3  | Рамы .....                                                                    | 30 |
| 2.4  | Арки .....                                                                    | 33 |
| 2.5  | Плиты-настилы .....                                                           | 41 |
| 3.   | Пространственные несущие конструкции .....                                    | 45 |
| 3.1  | Перекрыстные несущие конструкции .....                                        | 45 |
| 3.2  | Перекрестные системы из металла .....                                         | 46 |
| 3.3  | Структурно стержневые конструкции.....                                        | 49 |
| 3.4  | Армоцементные структурны.....                                                 | 52 |
| 3.5  | Своды.....                                                                    | 55 |
| 3.6  | Оболочки .....                                                                | 61 |
| 3.7  | Плиты оболочки.....                                                           | 62 |
| 3.8  | Оболочки положительной Гауссовой кривизны .....                               | 65 |
| 3.9  | Оболочки вращения (Купола) .....                                              | 67 |
| 3.10 | Оболочки на сложных планах .....                                              | 73 |
| 3.11 | Пологие оболочки положительной гауссовой кривизны на прямоугольном плане..... | 77 |
| 3.12 | Оболочки нулевой Гауссовой кривизны .....                                     | 79 |
|      | (Цилиндрические оболочки) .....                                               | 79 |
| 3.13 | Длинные цилиндрические оболочки .....                                         | 80 |
| 3.14 | Короткие цилиндрические оболочки.....                                         | 82 |
| 3.15 | Шедовые конструкции .....                                                     | 83 |
| 3.16 | Складки.....                                                                  | 85 |
| 3.17 | Конические оболочки.....                                                      | 86 |
| 3.18 | Оболочки отрицательной гауссовой кривизны на прямоугольном плане.....         | 88 |
| 3.20 | Жесткие оболочки двоякой кривизны .....                                       | 89 |
| 3.21 | Пространственные конструкции монолитных зданий типа .....                     | 91 |
|      | «Сотовый монолит» .....                                                       | 91 |
| 3.22 | Пространственные конструкции малых архитектурных форм.....                    | 96 |
| 3.23 | Мембранные оболочки.....                                                      | 98 |

|                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.24 Квазицилиндрические оболочки на прямоугольных планах .....                | 101 |
| 3.25 Кольцевые мембранные оболочки .....                                       | 103 |
| 3.26 Комбинированные оболочки .....                                            | 105 |
| 3.27 Висячие стержневые системы .....                                          | 109 |
| 3.28 Вантовые конструкции покрытия .....                                       | 112 |
| 3.29 Вантовые системы со стабилизацией с помощью железобетонной скорлупы ..... | 115 |
| 3.29 Вантовые системы на прямоугольных планах .....                            | 115 |
| 3.31 Стальные висячие решетчатые цилиндрические оболочки .....                 | 119 |
| 3.32 Сетчатые стальные конструкции .....                                       | 122 |
| 3.33 Сетчатые кольцевые оболочки и башни .....                                 | 124 |
| 3.34 Радиально-кольцевые стержневые оболочки .....                             | 128 |
| 3.35 Мягкие оболочки .....                                                     | 129 |
| Краткий терминологический словарь .....                                        | 141 |
| Основные буквенные обозначения .....                                           | 143 |
| Тесты по дисциплине архитектура промышленных и гражданских зданий .....        | 144 |
| Раздел 1. Плоскостные конструкции .....                                        | 144 |



## ВВЕДЕНИЕ

Стремление архитекторов во все времена к перекрытию больших пролетов прослеживается с древних времен и до настоящего времени. Развитие технического прогресса, использование современных материалов и технологий позволяет перекрывать значительные пролеты без внутренних, промежуточных опор для зданий самого различного назначения, как гражданского, производственного и сельскохозяйственного назначения. Совершенствуются конструктивные системы и схемы зданий. Прорыв в применении большепролетных конструкций дал развитие железобетонным конструкциям, металлическим конструкциям, тросовым системам и комбинированным покрытиям. Существенное развитие получили методы расчета конструкций, углубление знания свойств различных материалов, технология возведения таких конструкций. Возникают новые конструкции, сочетающие в себе эффективную работу и различные строительные материалы.

Отечественные и зарубежные исследования в различное время приводят различные классификации большепролетных конструкций. Так, можно встретить классификации по материалам (металл, железобетон, дерево, пластик и др.) Встречаются классификации по условиям работы таких конструкций. Такие классификации характерны в основном для ученых-инженеров расчетчиков. В то же время архитекторы чаще классифицируют такие конструкции по формообразованию (купола, своды, оболочки и т.д.). Анализ более поздних классификаций свидетельствует о попытках авторов унифицировать общую классификацию и в настоящее время не вызывает вопросов лишь общее разделение большепролетных конструкций на пространственные и плоскостные конструкции. В значительной степени авторы согласны в разделении группы плоскостных конструкций на следующие подгруппы: балки, фермы, арки, рамы. Дальнейшая более детальная классификация весьма разнородна.

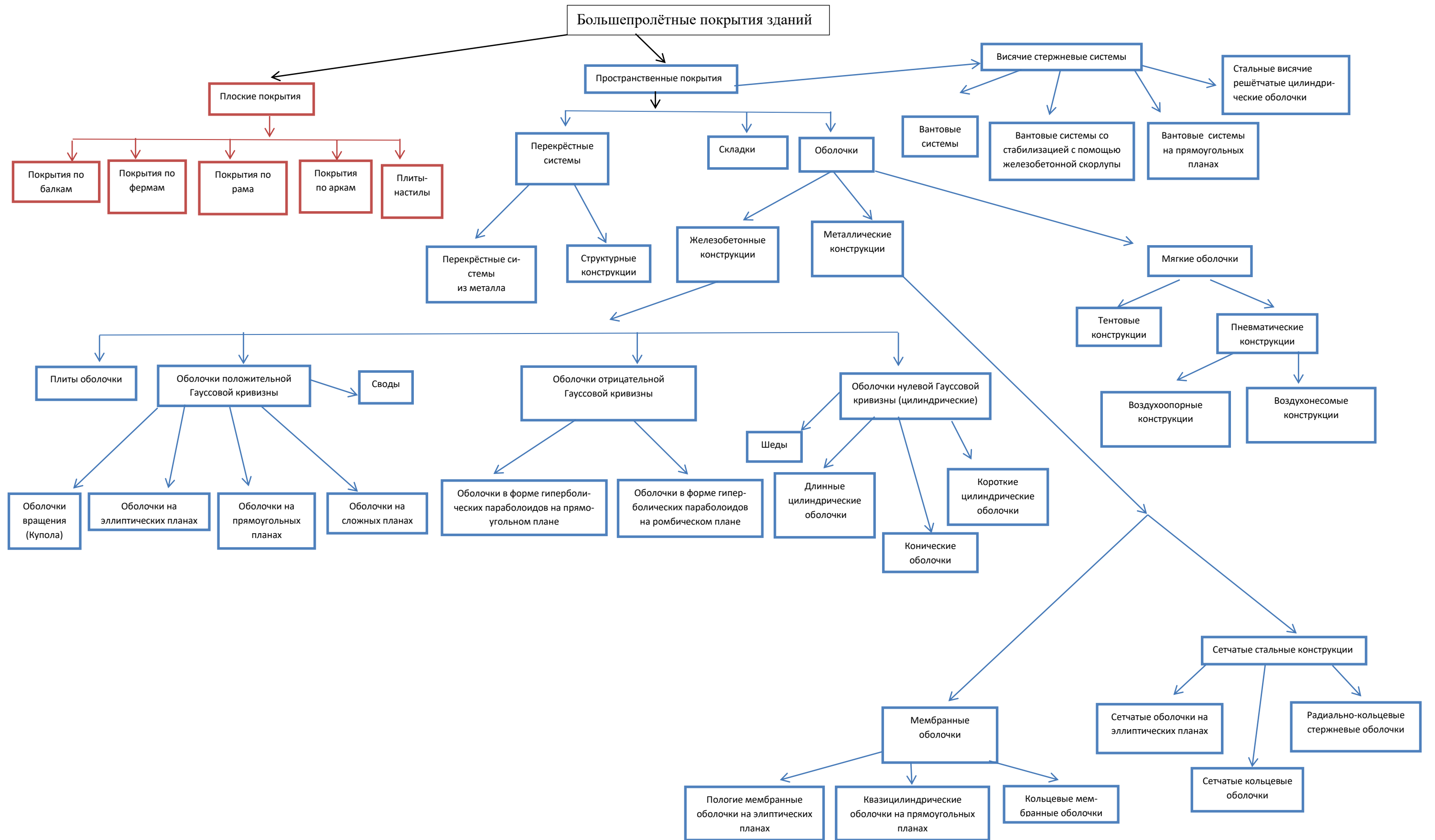
Можно встретить разделение балок на подгруппы по материалам или по величине перекрываемых пролетов. Спорным представляется отнесение сквозных балок к фермам. Встречаются и другие разночтения.

Такое же разнообразие разночтений относится к фермам, которые ряд авторов классифицирует, не зависимо от материалов, по форме (треугольная, с параллельными поясами, сегментные и т.п.); или классифицирует их только по материалам (металл, железобетон, дерево). При этом напряженно-деформированное и принципиальная работа ферм остается неизменной. Еще более разноречивое мнение исследователей относится к классификации рам где превалирует мнение состоящее в том, что эти конструкции классифицируются по условию их работы (двухшарнирные, трехшарнирные и бесшарнирные рамы). Хотя специалисты в области строительных материалов предпочитают классифицировать их по материалам. Примерно такая же ситуация в классификации наблюдается с арками.

Таким образом, даже в самой общей и самой простой классификации плоскостных конструкций, встречаются разногласия и несоответствия. Еще более запутана классификация пространственных конструкций. Причем архитекторы предпочитают классифицировать большепролетные конструкции только по форме, инженеры-конструкторы классифицируют в основном по условию работы. Более того различные термины в классификации конструкции могут ввести в заблуждение как например понятие оболочки с положительной, отрицательной, нулевой, одинарной, двойкой Гауссовой кривизны. Часть исследователей употребляет термин пологие оболочки,

оболочки вращения и др. Эти неточности в определениях, понятиях, терминах могут ввести в заблуждение. Наряду с этими неточностями встречаются несоответствия в отнесении большепролетных конструкций к той или иной конструкции соответствующих подгрупп. Так, например это относится к плитам КЖС, комбинированным структурам, плитам оболочкам, армоцементным конструкциям. Значительное число современных конструкций вообще не встречается, какого либо отнесения к той или иной подгруппе. Это касается тонколистовых сетчатых конструкций и ряда других, в которых отражается специфика их работы не только в характеристиках и материалах, но и в значительной степени формы плана или фрагментарном вычленении, например: оболочек в форме гиперболического параболоида. В целом с учетом выше изложенного, систематизация конструктивных решений большепролетных конструкций зданий представляется весьма актуальной.

# Классификация большепролётных конструкций



## 1 ИСТОРИЯ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Большепролетные конструкции играют значительную роль в мировой архитектуре. И заложено это еще в давние времена, когда собственно и появилось это особое направление архитектурного проектирования.

Идея и реализация большепролетных проектов неразрывно связана с основным стремлением не только строителя и архитектора, но и всего человечества в целом – стремлением покорения пространства. Именно поэтому, начиная со 125 года н. э., когда появилось первое известное в истории большепролетное строение, Пантеон Рима (диаметр основания – 43 м), купол Флорентийского собора (1436 г.) – 42 м,

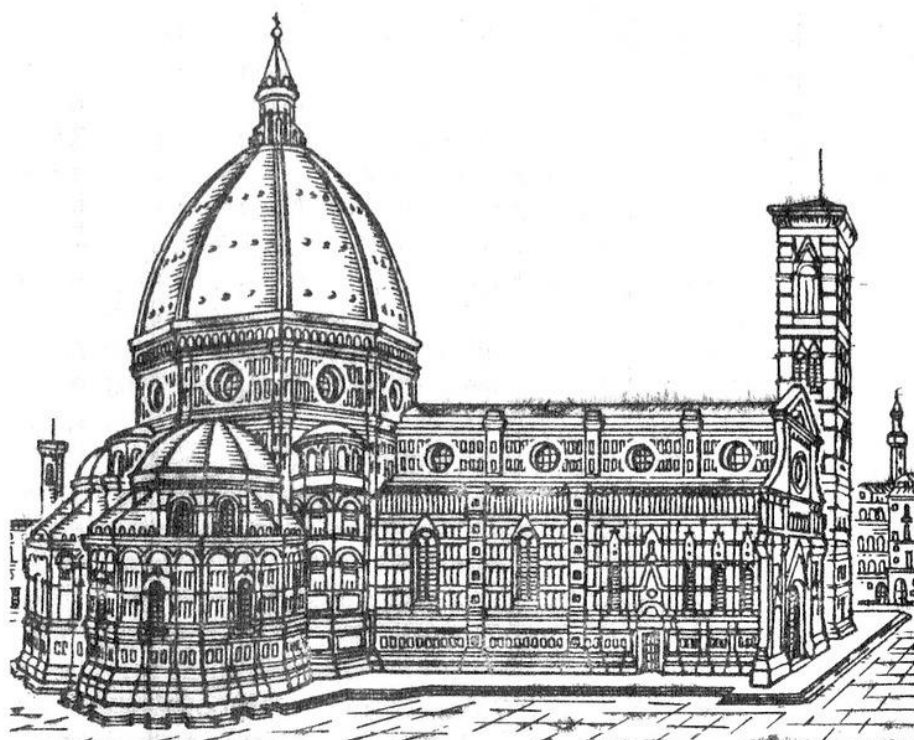


Рисунок 1.1 Собор Санта Мария дельФьоре, Флоренция

купол мечети Айя – София в Стамбуле (537 г.) – 32 м, купол Верхнего Совета в Кремле (1787 г.) – 22,5 м. и заканчивая творениями современных архитекторов, большепролетные конструкции пользуются особой популярностью.

Римляне изменили планировку и конструкции греческих театров, поскольку строили их часто не на естественных склонах, а на городских площадях, поднимая мощные стены вокруг приподнятой сцены и мест для зрителей. А эти места располагали амфитеатром на поддерживающих сводчатых конструкциях. Первый такой театр «Помпея» построен в 55 г. до н. э., а наиболее известный театр «Марцелла» в II г. до н. э.

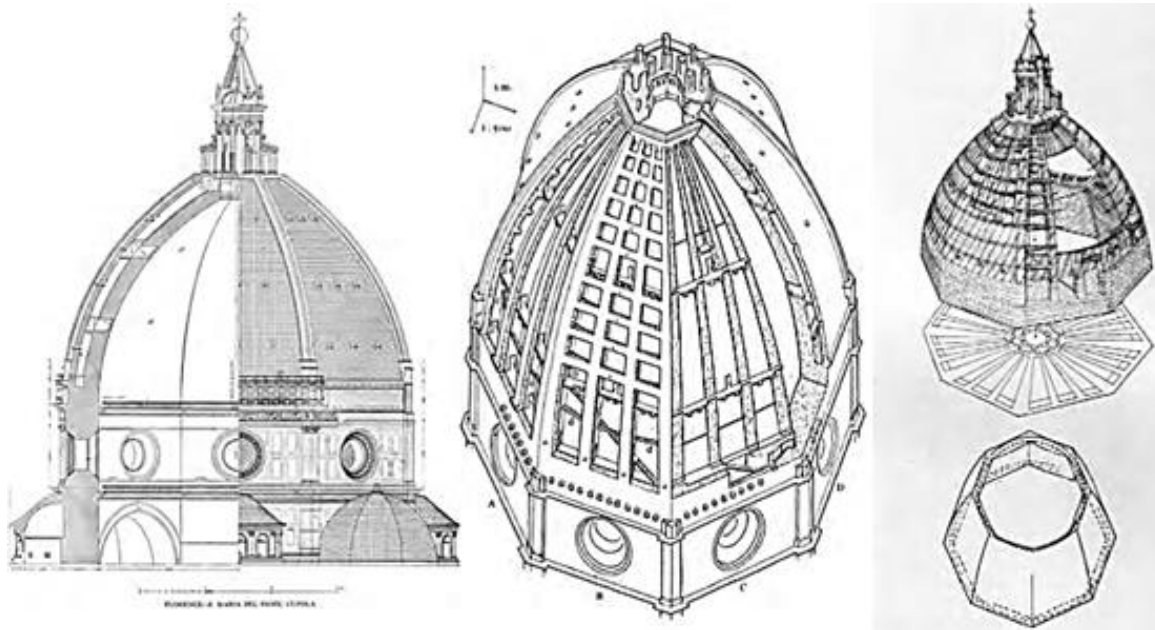


Рисунок 1.2 Купол мечети Айя – София в Стамбуле

Для спортивных состязаний, бега колесниц, для боев со зверями и боев гладиаторов, собиравших тысячи зрителей, созданы были сооружения нового типа, поскольку сцена стала излишней. Амфитеатр замыкали в кольцо или эллипс вокруг арены для состязаний.

Первая постройка такого типа амфитеатр в Помпее, построенный около 70 г. До н. э., а самая грандиозная и известная амфитеатр Флавиев, сооруженный в

75–80 гг. Его потрясающие даже нашего современника размеры определили название Colosseum – Колоссальный, или Колизей в современной транскрипции. Его внешние диаметры 189 и 156 м, высота 48 м, размеры эллиптической арены

87,5x55 м, зрительских мест 50 тыс. Они располагались на уступах, поддерживаемых мощными сводами. Внешняя стена имеет четыре яруса. Первые три из 80 столбов в каждом ярусе, поддерживающие полуциркульные арки, четвертый высокая стена. Столбы и арки сложены из травертина, стена кирпичная, уступы для зрителей из туфа. И тут использован бетон, а точнее бетоны на различных заполнителях: в фундаментах из лавы, в стенах из туфа и битой черепицы, в сводах из пемзы. Учитывались и прочность, и объемная масса бетона!

Как уже говорилось выше – первым был Пантеон в Риме построенный в 125 г. н. э. Позднее появились и другие величественные строения с большепролетными купольными элементами.

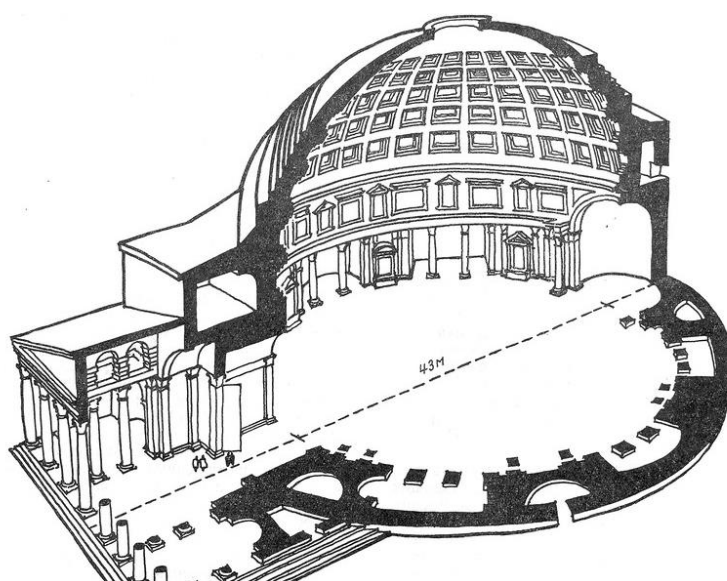


Рисунок 1.3 – Пантеон в Риме разрез

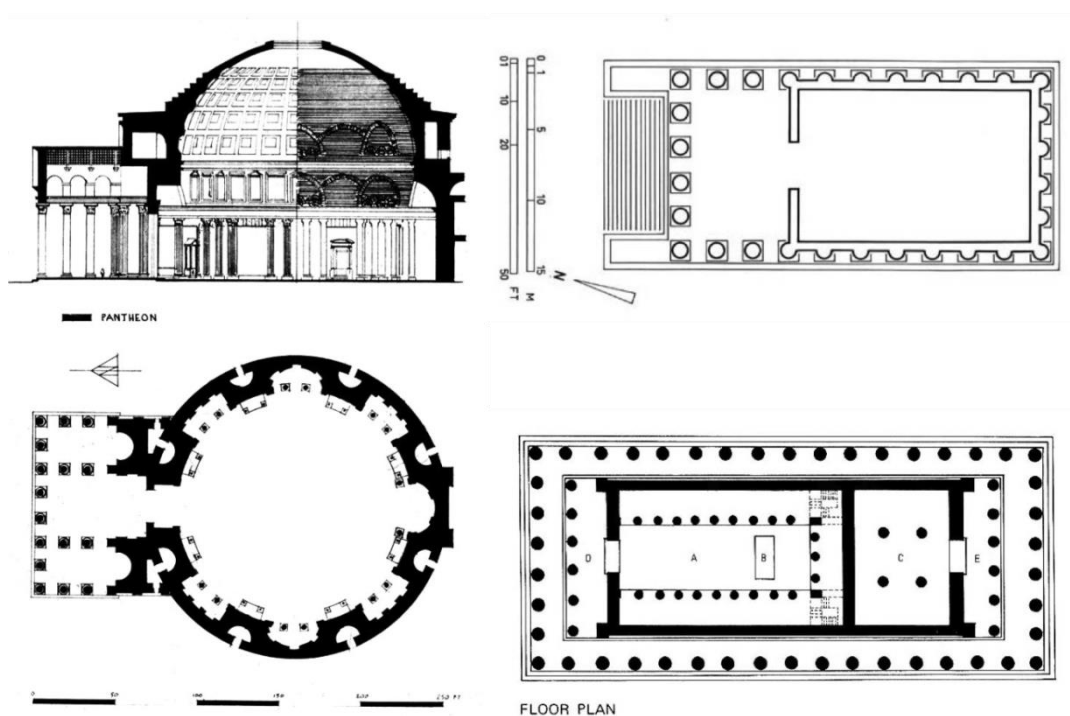


Рисунок 1.4 – Пантеон в Риме план

Ярким примером можно считать храм Святой Софии построенный в Константинополе в 537 г. н. э. Диаметр купола составляет 32 м., а сам он придает всему сооружению не только величественность, но и удивительную красоту, которой и по сей день восхищаются и туристы, и архитекторы.

В те времена из камня невозможно было построить легкие сооружения. Поэтому купольные строения характеризовались большой массивностью, а их строительство требовало серьезных временных затрат – до 100 и более лет.



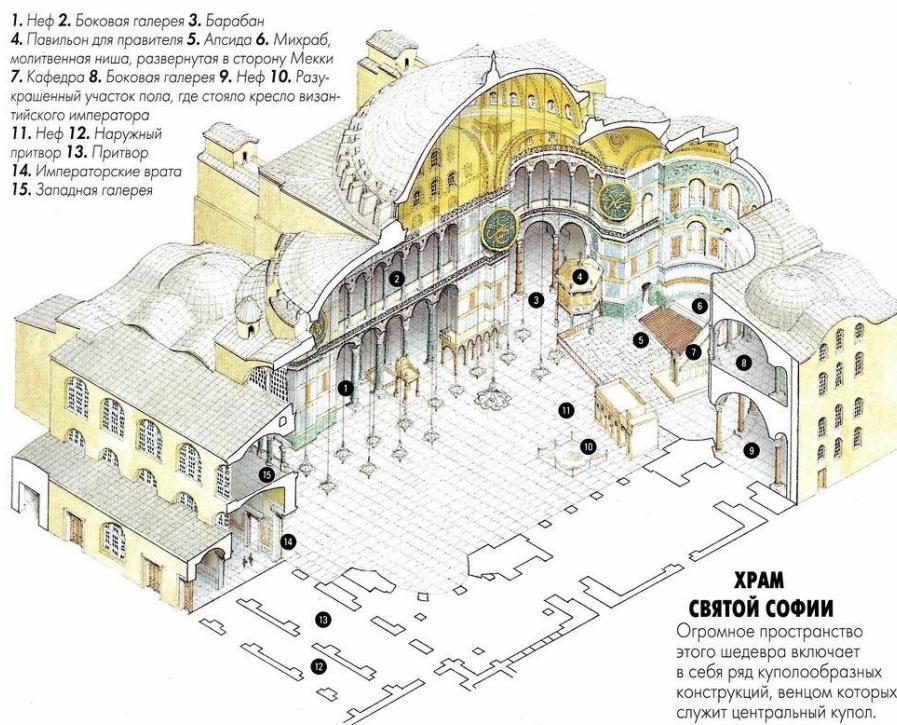


Рисунок 1.5 – Храм Святой Софии разрез

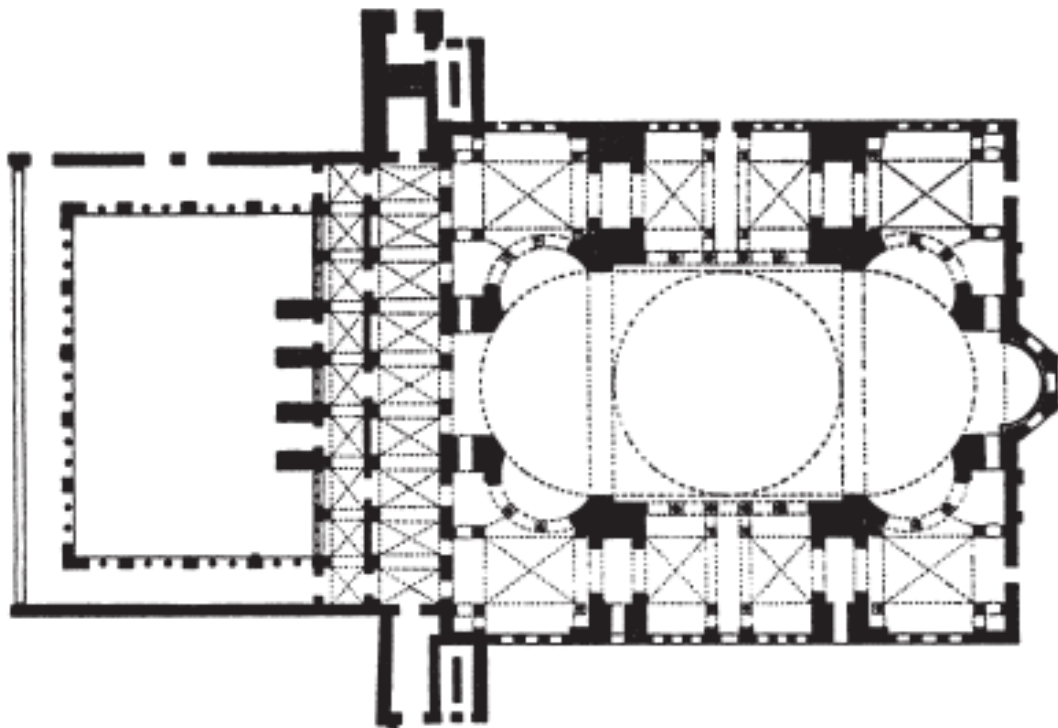


Рисунок 1.6 – Храм Святой Софии план

Позже, для обустройства перекрытий больших пролетов начали использоваться и деревянные конструкции. Здесь ярким примером является достижение отечественной архитектуры – бывший Манеж в Москве был построен в 1812 г. и имел в своей конструкции деревянные пролеты длиной 30 м.

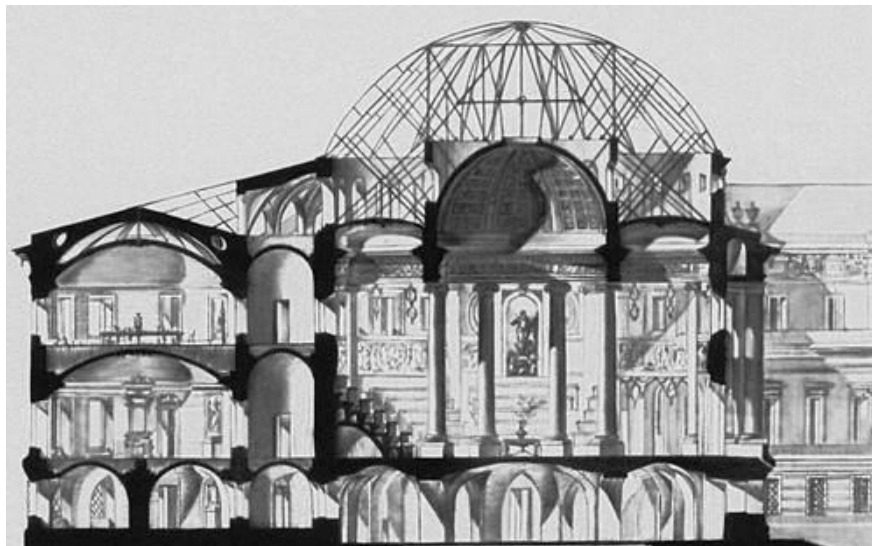


Рисунок 1.7 – Здание сената в Кремле

XVIII–XIX столетия характеризуются развитием черной металлургии, что дало новые и более прочные материалы для строительства – сталь и чугун. Это ознаменовало появление во второй половине XIX в. столетия большепролетных стальных конструкций, получивших большое применение в российской и мировой архитектуре.

Следующим строительным материалом, существенно расширившим возможности архитекторов, стали железобетонные конструкции. Благодаря появлению и совершенствованию ЖБК мировая архитектура XX столетия пополнилась тонкостенными пространственными конструкциями. Параллельно, во второй половине XX в., стали широко использоваться висячие покрытия, стержневые и пневматические системы.

Во второй половине XX в. появилась и клееная древесина. Развитие этой технологии позволило «вернуть к жизни» деревянные большепролетные конструкции, достичь особых показателей легкости и невесомости, завоевать пространство, не идя при этом на компромисс с прочностью и надежностью.

### Контрольные вопросы

1. В каком году было построено первое большепролетное строение?
2. Где был построен Собор Санта Мария дельФьоре?
3. Какой длины пролет перекрывал купол мечети Айя – София в Стамбуле?
4. Где была построена первая в истории постройка эллиптической формы?
5. Назовите диаметр купола храма Святой Софии в Константинополе.
6. Из какого материала использовались конструкции для перекрытия Манежа в Москве в 1812 г.?
7. В каком веке появилась клееная древесина?
8. В каком году был построен амфитеатр в Помпее?
9. Каков диаметр купола Флорентийского собора?



## 2 ПЛОСКОСТНЫЕ НЕСУЩИЕ КОНСТРУКЦИИ

В общественных зданиях массового строительства для покрытия зальных помещений применяются преимущественно традиционные плоскостные конструкции: настилы, балки, фермы, рамы, арки. Работа этих конструкций основана на использовании внутренних физико-механических свойств материала и передаче усилий в теле конструкции непосредственно на опоры. В строительстве плоскостной тип покрытий хорошо изучен и освоен в производстве. Многие из них пролетом до 36 м разработаны как сборные типовые конструкции. Идет постоянная работа по их усовершенствованию, снижению массы и материалоемкости.

Плоскостная конструкция покрытия большепролетных конструкций в интерьерах общественных зданий почти всегда, ввиду ее низких эстетических качеств, закрывается дорогостоящим подвесным потолком. Этим в здании создаются излишние пространства и объемы в зоне конструкции покрытия, в редких случаях используемые под технологическое оборудование. В экстерьере сооружения такие конструкции из-за их невыразительности обычно спрятаны за высокими парапетами стен.

### 2.1 Балки

Балки изготавливаются из стальных профилей, железобетонными (сборными и монолитными), деревянными (на клею или на гвоздях). Типовые размеры балок применяют при пролетах 9, 12, 18 метров. Стальные балки таврового или коробчатого сечения (Рисунок 2.1, а, б) требуют большого расхода металла, имеют большой прогиб, который обычно компенсируется строительным подъемом ( $1/40$ – $1/50$  от пролета).

Примером может служить закрытый искусственный каток в Женеве, выстроенный в 1958 г. Покрытие зала размерами 80,4х93,6 м выполнено из десяти цельно сваренных сплошных стальных балок переменного сечения, установленных через 10,4 м. За счет устройства консоли с оттяжкой на одном конце балки создается предварительное натяжение, способствующее уменьшению сечения балки.

Железобетонные балки имеют большой изгибающий момент и большую собственную массу, но просты в изготовлении. Они могут выполняться монолитными, сборно-монолитными и сборными (из отдельных блоков и цельные). Выполняются из железобетона с предварительным напряжением арматуры. Отношение высоты балки к пролету колеблется в пределах от  $1/8$  до  $1/20$ . В практике строительства встречаются балки пролетом до 60 м, а с консолями – до 100 м. Сечение балок в виде тавра, двутавра или коробчатое (Рисунок 2.2, а, б, в, г, д)

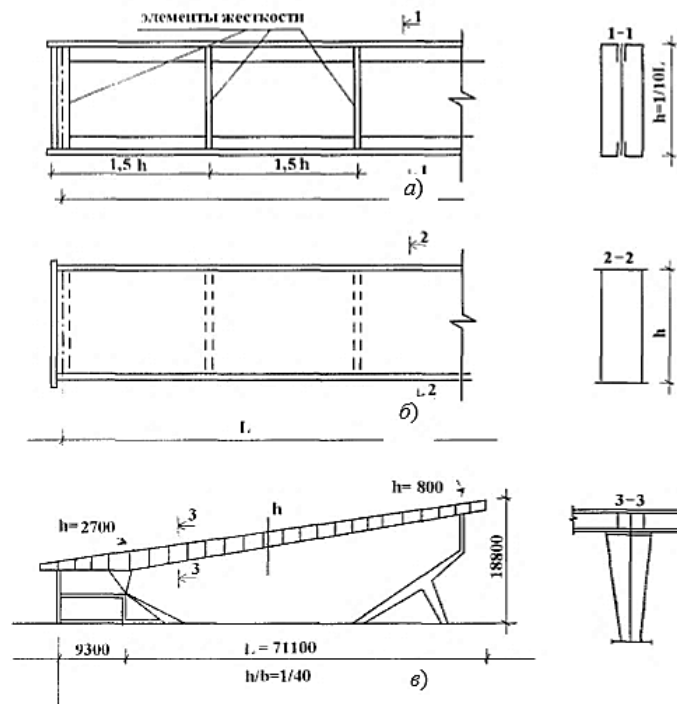


Рисунок 2.1 – Стальные балки

а – стальная балка двутаврового сечения (составная); б – стальная балка коробчатого сечения (составная); в – искусственный закрытый каток в Женеве (1958)

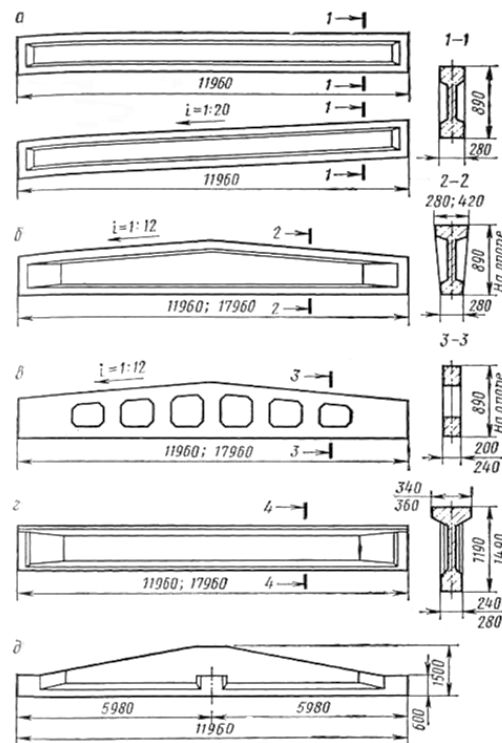


Рисунок 2.2 – Железобетонные балки покрытий:

а, г – стропильные двутаврового сечения для плоских и односкатных покрытий; б –

то же, для двух- и многоскатных покрытий; в – стропильная решетчатая для скатных покрытий; д – подстропильная балка

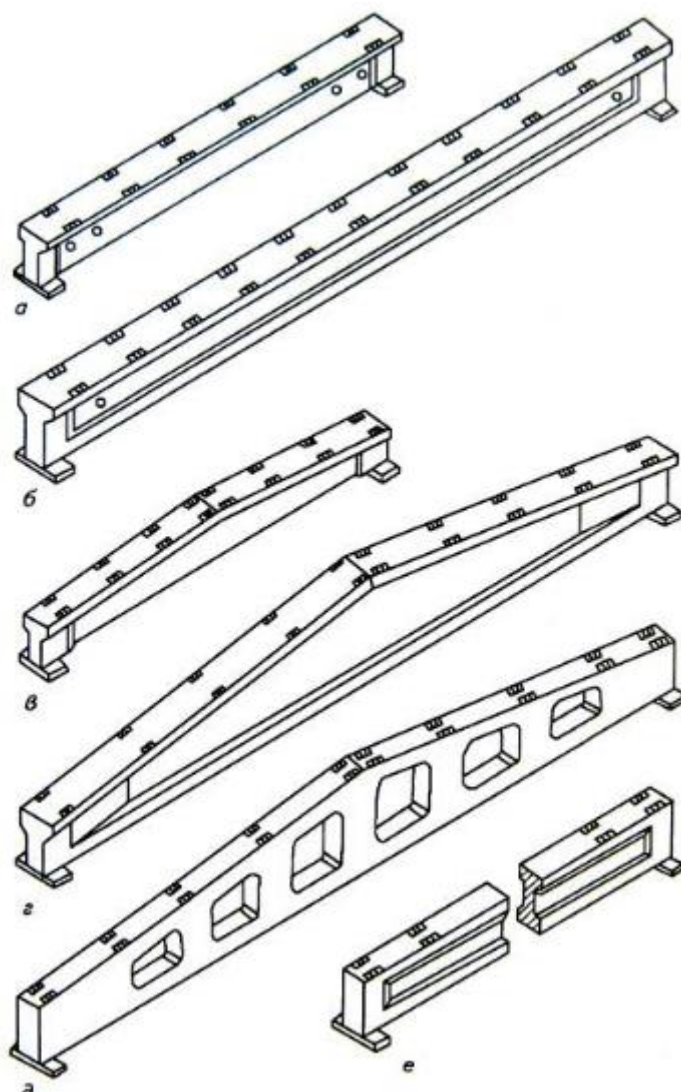


Рисунок 2.3 – Желе

зобетонные строительные балки:

а,б – односкатные железобетонные стропильные балки, в,г – двускатные,  
 д – решётчатые, е – с параллельными поясами

В практике массового строительства в нашей стране широкое применение находят

балки, приведенные на рисунок 2.2, а, б, в.

Деревянные балки применяются в местностях, богатых лесом. Обычно они используются в зданиях 3 класса из-за их малой огнестойкости и долговечности.

**Деревянные балки** подразделяются на гвоздевые и клееные длиной до

30–20 м. Гвоздевые балки (Рисунок 2.4) имеют шитую на гвоздях стену из двух слоев досок, наклоненных в разные стороны под углом  $45^\circ$ . Верхний и нижний пояса образуют за счет нашитых с обеих сторон вертикальных стенок балки продольных и поперечных брусев. Высота гвоздевых балок  $1/6 \dots 1/8$  от пролета балки. Вместо дощатой стенки можно применять стенку из многослойной фанеры.

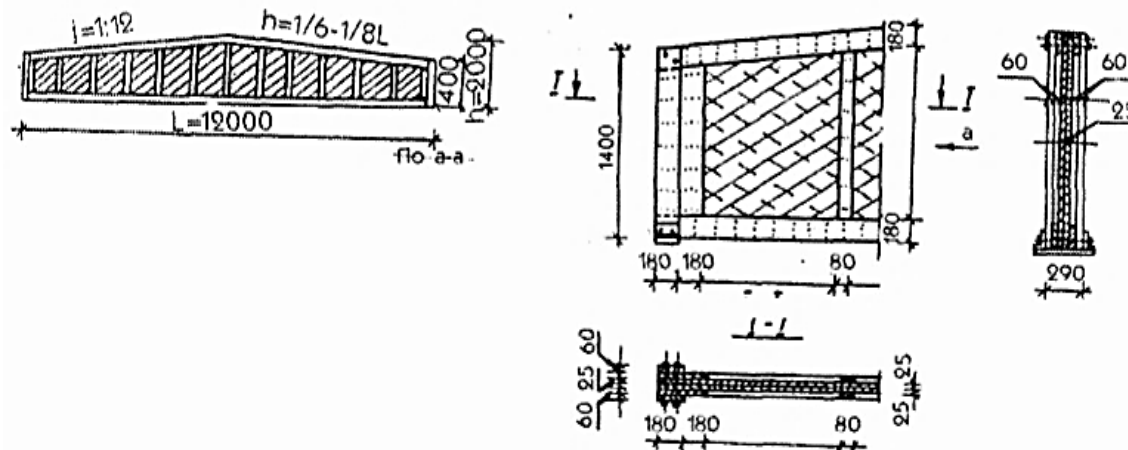


Рисунок 2.4 – Деревянная балка из досок на гвоздях

**Клееные балки** в отличие от гвоздевых обладают высокой прочностью и повышенной огнестойкостью даже без специальной пропитки. Сечение клееных деревянных балок может быть прямоугольным, двутавровым, коробчатым. Они изготавливаются из реек или досок на клею, уложенных плашмя или на ребро. Высота таких балок  $1/10-1/12$  от пролета. По очертанию верхнего и нижнего поясов клееные балки могут быть с горизонтальными поясами, одно- или двухскатные, криволинейные (Рисунок 2.5).

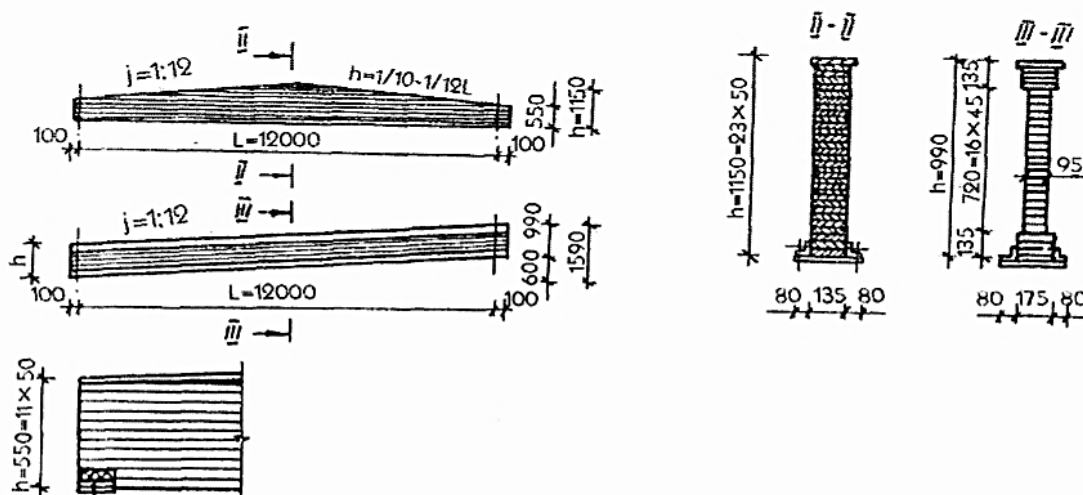


Рисунок 2.5 – Деревянные клееные балки

Примером применения деревянных клееных балок может являться построенный в 1957 г. колледж в Ашленде (штат Орегон, США), где в конструкции покрытия были ис-

пользованы балки пролетом 40 м, шириной 0,23 м и переменной высотой 1,22–2,03 м, изготовленных из брусков сечением 41х23 мм.

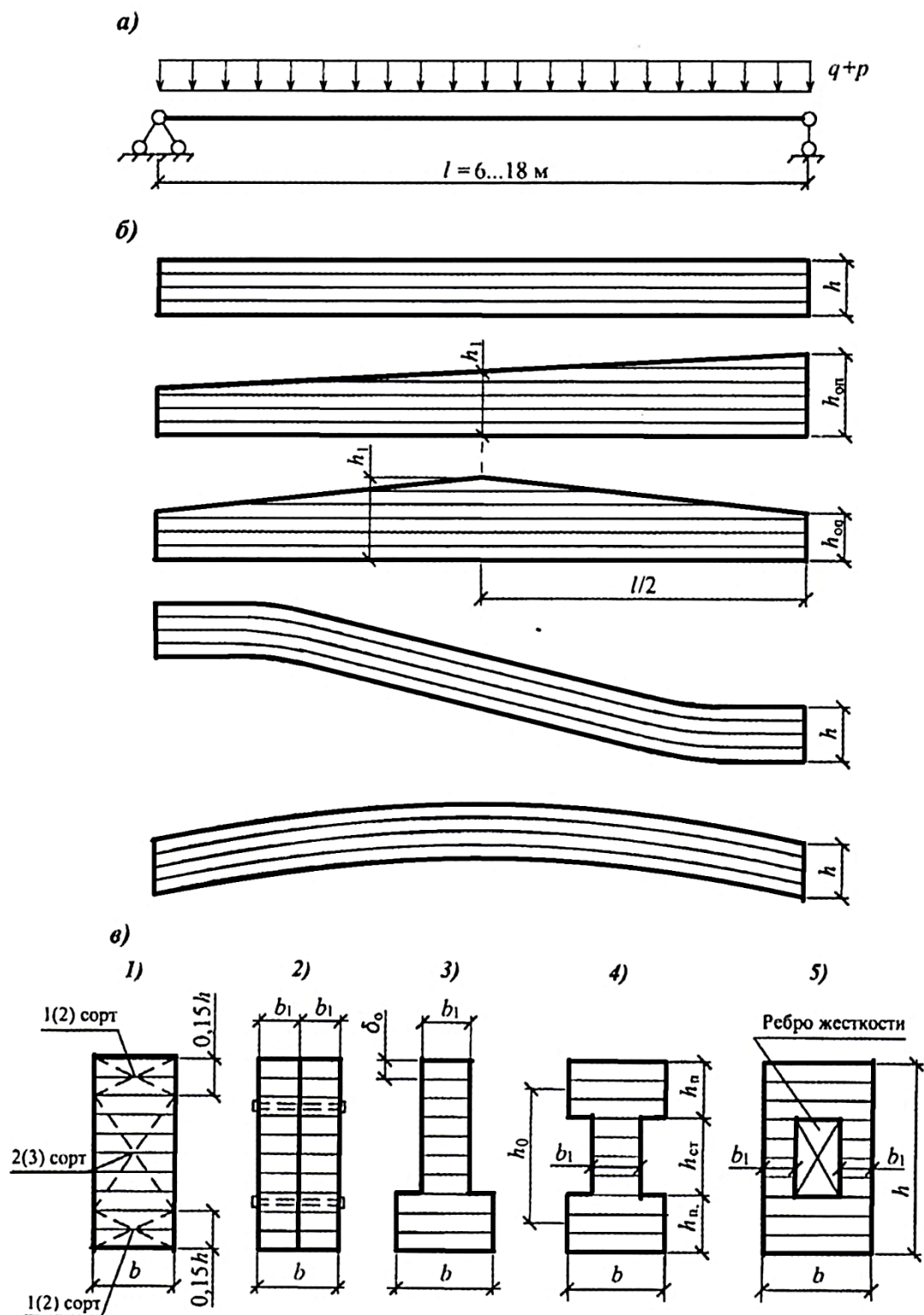


Рисунок 2.6— Клееные деревянные балки:

а) схема приложения нагрузки; б — основные типы балок; в — типы поперечных сечений: (1 — сплошное; 2 — спаренное; 3 — тавровое; 4 — двутавровое;

5 – коробчатое).

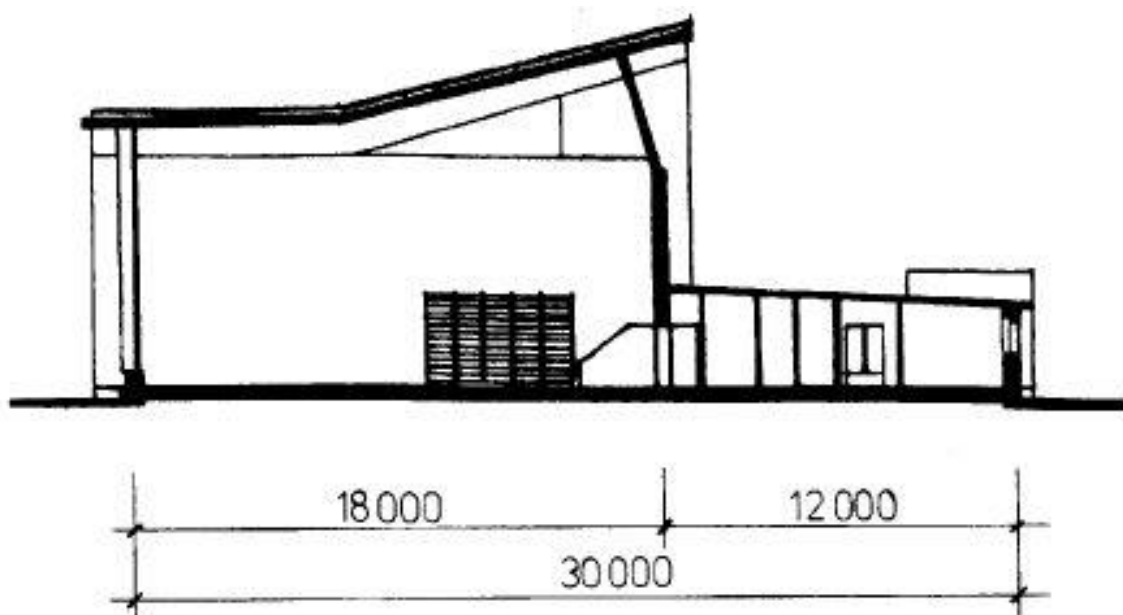


Рисунок 2.7 – Гнутая балка покрытия спортивного зала

## 2.2 Фермы

**Ферма** – сквозная решетчатая конструкция, состоящая из отдельных прямых стержней, соединенных между собой в узлах. Эта система геометрически неизменяема даже в том случае, если все реальные узловые соединения заменены идеальными шарнирами. В действительности узлы фермы не являются шарнирами. Пояса фермы представляют собой неразрезные стержни, а узловые соединения обладают значительной жесткостью

Фермы, как и балки, могут изготавливаться из металла, железобетона и дерева. Типовые пролеты ферм применяют при пролетах 18, 24, 36 метров.

*Стальные фермы* в отличие от металлических балок за счет решетчатой конструкции требуют меньше металла. При подвесном потолке создается проходной чердак, обеспечивающий пропуск инженерных коммуникаций или свободный проход по чердаку. Фермы выполняют, как правило, из стальных профилей, а пространственные трехгранные фермы – из стальных труб.

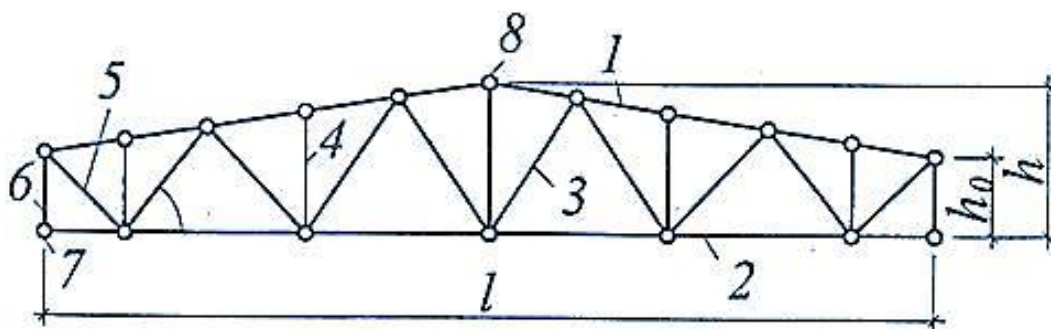


Рисунок 2.8–Схема фермы:

1– верхний пояс; 2– нижний пояс; 3– раскос; 4– стойка; 5 – опорный раскос 6–

опорная стойка: 7 – опорный учел 8– коньковый узел

Фермы являются основой многих стержневых систем и разнообразны по назначению. Их используют в конструкции покрытий зданий (стропильные, подстропильные фермы), междуэтажных перекрытий, в качестве контурных диафрагм оболочек, складок и др. Область применения ферм – промышленное, гражданское и сельскохозяйственное строительство. Ферма работает на изгиб от внешней вертикальной нагрузки, как правило, приложенной в узлах. Благодаря этому в элементах фермы возникают осевые растягивающие и сжимающие усилия, что обеспечивает более полное, сравнительно с балками, использование несущей способности материала.

Фермы могут быть двухопорными (разрезными), многоопорными (неразрезными) и консольными. Неразрезные фермы, разгруженные в пролете в результате действия опорных моментов, оказываются легче разрезных. Однако они сложнее в изготовлении, монтаже и чувствительнее к осадкам опор. Неразрезные и консольные фермы не типизированы и применяются редко, главным образом для уникальных покрытий больших пролетов.

Стропильные фермы покрытий могут иметь разнообразную форму, отвечающую архитектурным и функциональным требованиям проектируемого объекта. Геометрическая схема фермы определяется очертанием поясов и видом решетки. По очертанию поясов стропильные фермы бывают четырехугольными (с параллельными или непараллельными поясами), пятиугольными (трапециевидные), многоугольными (полигональные), сегментными (кругового или параболического очертания), треугольными (с прямым или ломаным нижним поясом), одно- и двухскатными (Рисунок 2.9, а, б, ).

Очертание верхнего пояса ферм определяется, главным образом, архитектурой здания и увязывается с материалом кровли и уклоном. Линию нижнего пояса определяют наличие подвесного потолка, подвесного транспорта и требования интерьера.

Фермы с параллельными поясами и трапециевидные наиболее просты по форме и в изготовлении, поэтому они широко применяются в гражданских и промышленных зданиях различного назначения, имея небольшую строительную высоту по сравнению с фермами других типов.

Треугольные фермы используются для покрытия зданий с крутой (25–45°) холодной кровлей из мелкогабаритных материалов (кровельная сталь, черепица, плоские и волнистые асбестоцементные листы и т.п.). Конструктивные недостатки этих ферм – разнотипность элементов и узлов.

Наиболее экономичны по расходу материалов сегментные фермы, эффективность применения которых возрастает с увеличением пролета, но они трудоемки в изготовлении из-за кривизны верхнего пояса, а также различной длины элементов решетки. Поэтому на практике сегментные фермы заменяют полигональными, со спрямленными элементами верхнего пояса в пределах основных узлов.

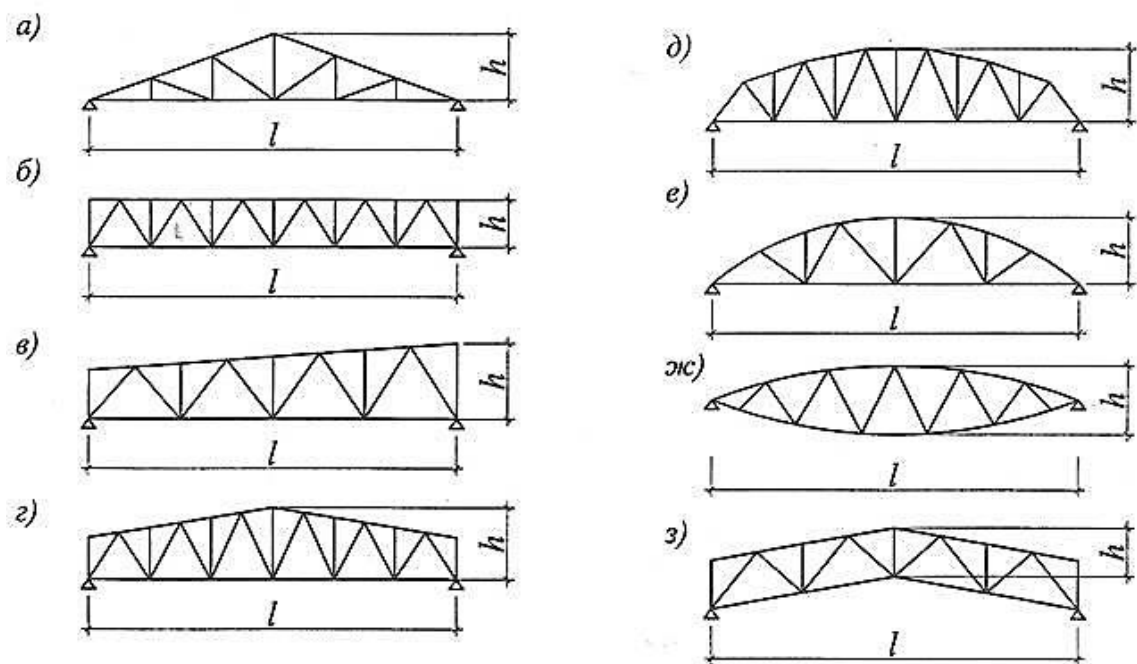


Рисунок 2.9– Геометрические схемы ферм:

а– треугольная; б, в – четырехугольная с параллельными и непараллельными поясами, г – пятиугольная (трапециевидная), д– многоугольная (полигональная); е – сегментная (арочная), ж– линзообразная (рыбчатая); з– вставленная

Фермы с параллельными поясами проектируют под рулонную кровлю. Их достоинство – однотипность узлов и размеров элементов, оптимальные ( $45\text{--}60^\circ$ ) углы между раскосами и поясами.

Трапециевидные, полигональные и сегментные фермы относятся к наиболее рациональным по расходу материалов и широко используются в современном строительстве.

В общественных зданиях находят применение линзообразные и вставленные фермы, а в промышленных зданиях – фермы с параллельными поясами и опиранием в узлах верхнего пояса и др.

Безраскосные фермы применяют в междуэтажных перекрытиях, когда межферменное пространство используется в качестве эксплуатируемого этажа. Такая ферма лишена свойства геометрической неизменяемости и может существовать при условии замены ее шарнирных узлов жесткими, т.е. превращением ее в раму. К недостаткам этих ферм относится возникновение значительных изгибающих моментов в поясах и стойках, которые приводят к усилению их сечений и необходимости делать узлы более жесткими, а следовательно, к повышенному расходу стали.

Оптимальная высота фермы из условия минимальной массы и требуемой жесткости получается при отношении ее высоты к пролету:  $h/l = 1/4\text{--}1/5$  (относительная высота фермы). Чем она больше, тем меньше усилия в поясах. Однако в этом случае фермы, имея значительную высоту, неудобны в транспортировке и монтаже, завышают объемы здания. Поэтому рекомендуемые высоты ферм меньше оптимальных,

При одинаковой высоте наибольшую жесткость имеет ферма с параллельными поясами, наименьшую – треугольная. Рекомендуются рациональные соотношения  $h/l$  для ферм различных очертаний: с параллельными поясами –  $1/8\text{--}1/12$ ; полигональных и сегментных –  $1/6\text{--}1/10$ ; треугольных –  $1/4\text{--}1/6$ .



Неизменяемость фермы при любой нагрузке достигается устройством решетки, образующей систему треугольников. Основные типы решеток – раскосная и треугольная. Иногда используют крестовую, ромбическую или полураскосную решетки.

При проектировании фермы учитывают наибольший возможный габарит, который из условий транспортировки по железной дороге не должен превышать 3,8 м по вертикали и 3,2 м по горизонтали.

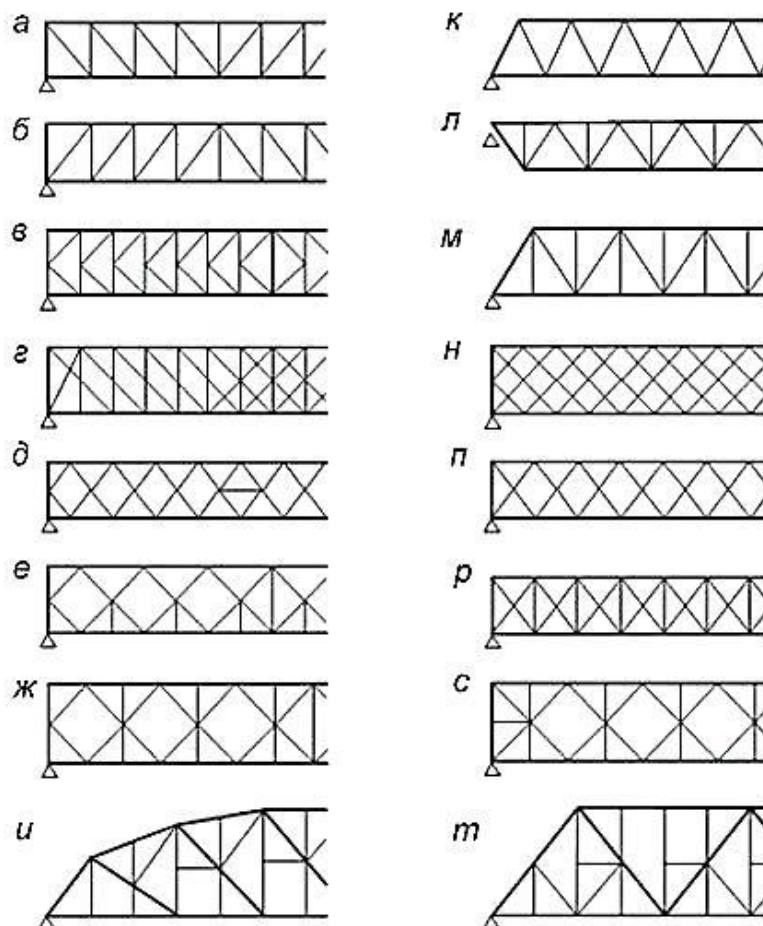


Рисунок 2.10–Схемы решеток ферм:

- а, б – раскосная с нисходящими и восходящими раскосами; в – полураскосная;  
 г – многораскосная; д – ромбическая;  
 е, ж – ромбическая с полуподвесками и полустойками; з, т – шпренгельная;  
 к – треугольная с восходящими раскосами; л, м – треугольная со стойками и подвесками;  
 н – многорешетчатая; п – двухрешетчатая; р – крестовая;  
 с – двойная треугольная с полуподвесками и полустойками

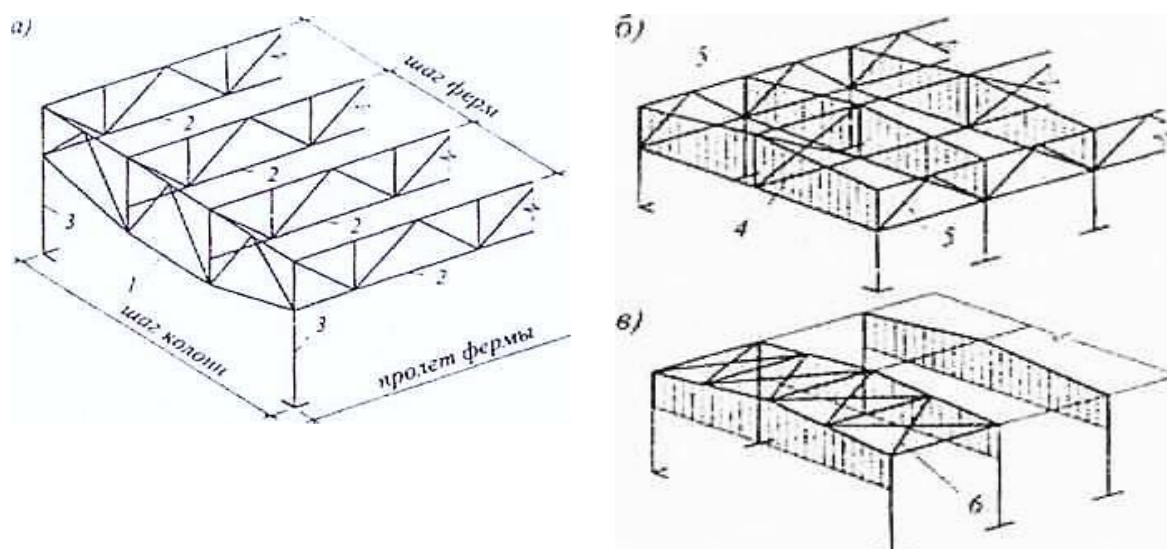


Рисунок 2.11 –Схема стропильного покрытия и система связей:  
а – подстропильная и стропильная фермы (1 и колонна (3); б – вертикальные связи (4 и 5); в – горизонтальные связи (6)

Расстояние  $l_m$  между узлами решетки по верхнему поясу называется панелью фермы. Рекомендуемая длина  $l_m$  равна 3 м, что соответствует ширине типовых кровельных плит. При использовании 1,5-метровых плит длину панели  $l_m$  сокращают вдвое, добавляя стойки в узлах или вводя в решетку шпренгели, которые одновременно уменьшают и свободную длину раскосов в плоскости фермы.

С целью унификации параметров производственных зданий пролеты типовых ферм приняты кратными 6 м.

Шаг ферм определяется архитектурным решением здания с учетом требований модульной системы и конструктивных возможностей покрытия. Оптимальный шаг стропильных ферм составляет 6–12 м.

При шаге колонн, превышающем шаг ферм, используют в продольном направлении подстропильные фермы, на которые опираются пролетные стропильные фермы (рисунок 2.11 а).

Плоская ферма имеет малую горизонтальную жесткость из плоскости и приобретает устойчивость только в блоке с другой фермой. Элементы, соединяющие две фермы, называют связями. С помощью системы связей фермы превращаются в решетчатую структуру с признаками пространственной работы (рисунок 2.11 в).

Металлические фермы условно делят на легкие и тяжелые. К легким относят фермы пролетами до 50 м и усилиями в поясах, не превышающими 4000 кН. Фермы с большими усилиями и пролетами свыше 50 м считаются тяжелыми.

Легкие фермы имеют одностенчатую решетку с одним рядом узловых фасонок или без них и пояса различного сечения (рисунок 2.12). В элементах этих ферм используют следующие профили – уголки, швеллеры, тавры, бесшовные трубы (круглые, квадратные, прямоугольные).

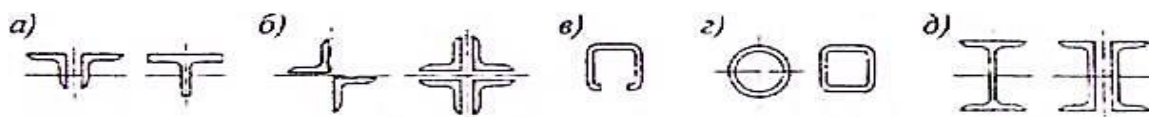


Рисунок 2.12– Сечения элементов легких ферм:  
а– тавровые; о крестовые; в открытые холодногнутые;  
г– трубчатые: д – двутавровые

Легкие фермы из парных уголков, составленных тавром, принадлежат к наиболее распространенным. Основу их узлов составляют листовые фасонки, заведенные между уголками. Толщину фасонки назначают в соответствии с усилиями в элементах ферм. Располагая уголки в сечении различным образом (например, крестовое сечение), можно получить различные соотношения величин радиусов инерции  $i_x$  и  $i_y$ . Рациональным сечением считается такое, у которого гибкость по обеим осям примерно одинакова:  $\lambda_x = l_{efx}/i_x = \lambda_y = l_{efy}/i_y$ .

Уголки приваривают к фасонкам фланговыми швами. Рассчитанные длины сварных швов вдоль обушка и пера элемента решетки позволяют определить границы фасонки.

Фермы из одиночных уголков применяют при небольших нагрузках.

Трубчатые фермы выполняются из круглых горячекатаных и электросварных труб, которые особенно экономичны в сжатых элементах. Наиболее рациональным видом стыкового сопряжения является непосредственное примыкание труб с обваркой по контуру. При невозможности выполнения фигурной резки концы труб сплющивают и приваривают к поясам.

Фермы из гнутых профилей открытого и замкнутого сечений отличаются простотой узлов и меньшим их количеством.

Фермы с поясами из широкополочных двутавров проектируют обычно с параллельными поясами в целях типизации элементов решетки.

В фермах из алюминиевых сплавов применяют прессованные профили (уголки, швеллеры, тавры). Примеры узловых соединений ферм даны на рисунок 2.13.

Тяжелые фермы используют при пролетах 50–100 м. Решетка таких ферм, как правило, двухстенчатая с двумя рядами фасонок и поясами различного сечения, в которых применяется широкополосная сталь и двутавры (рисунок 2.14). Преимущественно используют Н-образные и П-образные сечения, так как они позволяют проектировать сравнительно простые сопряжения стержней в узлах. Тяжелые фермы могут быть различного очертания, однако общим для них является наличие треугольных или ромбических решеток со шпренгелями, которые уменьшают расчетную длину верхнего внецентренно сжатого пояса в плоскость фермы. Для таких ферм характерна укрупнительная сборка на монтажной площадке.

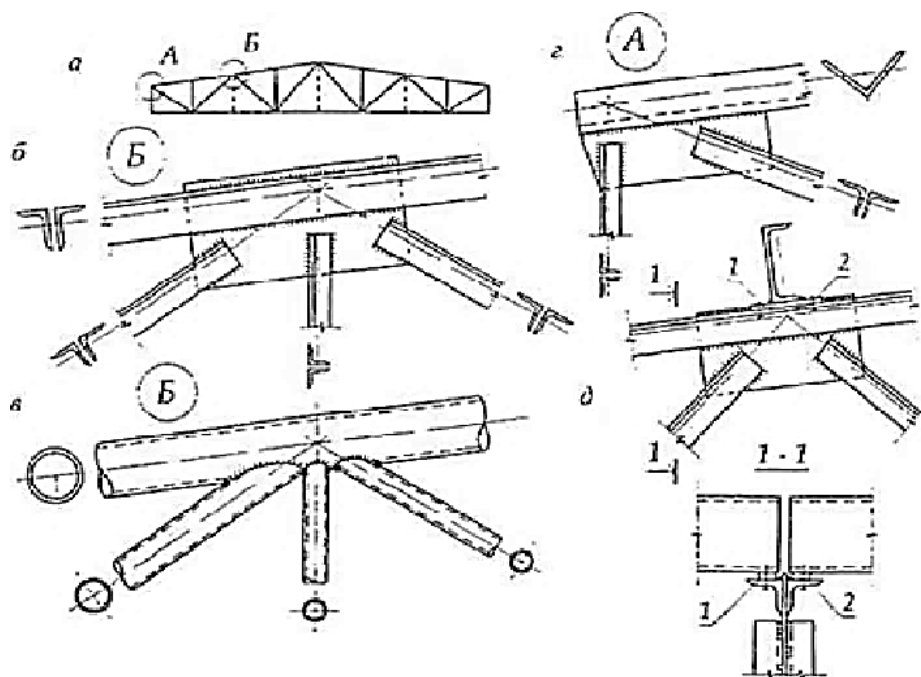


Рисунок 2.13– Узлы легких трапецевидных ферм:  
а– схема фермы; б– с верхним поясом в виде тавра из пары уголков;  
в– то же. из труб; г – то же. из одного уголка;  
д– вариант размещения прогонов; 1– планка; 2 – болт

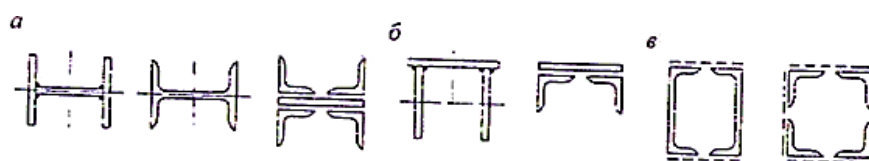


Рисунок 2.14 – Сечение элементов тяжелых ферм:  
а – Н-образные; б – П-образные; в – коробчатые

**Железобетонные фермы**– могут быть выполнены цельными длиной до 30 м, составными (из двух полуферм, нескольких блоков) или из отдельных элементов длиной более 30 м. Последний способ является невыгодным из-за трудоемкого монтажа.

Отношение высоты фермы к пролету  $1/6$ – $1/9$ . Длина прямолинейных панелей фермы – 1,5 или 3 м (ширина плит покрытия). Для арочных ферм, где момент от внеузловой нагрузки компенсируется моментами обратной знака от эксцентричного действия продольных сил, длина панелей может быть увеличена до размеров, кратных ширине плит покрытия.

По условию устойчивости ширина сечения верхнего пояса фермы  $h$  принимается равной  $(1/70$ – $1/80)$ . Конструктивно она связана с шагом ферм: при шаге 6 м ширину сечения  $h$  назначают равной 20–25 см; при шаге 12 м – 30–35 см. Ширина сечения верхнего и нижнего поясов, а также раскосов и стоек принимается, как правило, одинаковой для удобства бетонирования. Иногда в целях экономии бетона ширину сечения элементов решетки принимают на 10–15 см меньше ширины поясов. Сечения поясов проектируют квадратными или прямоугольными с соотношением  $b/h = 1,2$ – $1,3$

Нижний пояс выполняется обычно горизонтальным, верхний пояс может иметь горизонтальное, треугольное, сегментное или полигональное очертания. Наибольшее рас-

пространение получили железобетонные полигональные (двухскатные) фермы, изображенные на рисунок 2.15.

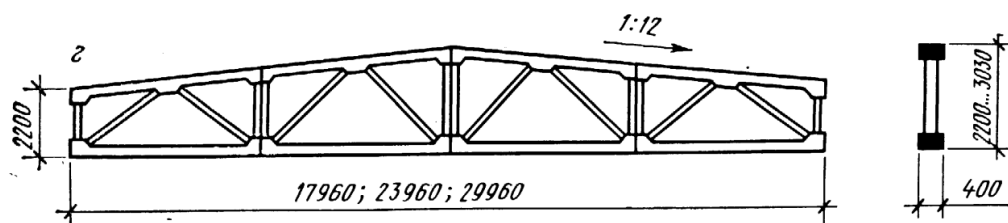


Рисунок 2.15– Составная двухскатная железобетонная ферма, состоящая из двух полуферм с предварительно–напряженным нижним поясом

Максимальная длина запроектированных железобетонных ферм составляет около 100 м при шаге 12 м. Недостатком железобетонных ферм является большая конструктивная высота. Для уменьшения собственной массы ферм необходимо применять высокопрочные бетоны и внедрять легкие плиты покрытия из эффективных материалов.

Треугольные фермы – самые невыгодные ввиду их большой высоты и значительного расхода материалов. Применение таких ферм оправдано только в случае использования кровли со значительным уклоном из асбестоцементных или металлических листов.

Наиболее целесообразны по распределению материала сегментные или арочные фермы с ломаным или криволинейным верхним поясом, приближающимся по очертанию к параболической эпюре моментов. В этих фермах усилия в поясах распределяются более равномерно, а усилия в решетке значительно меньше, чем в фермах других очертаний. Сегментные и арочные фермы имеют незначительную высоту на опоре, что позволяет уменьшить высоту стен. Фермы трапецевидные и с параллельными поясами имеют большую высоту на опоре, что увеличивает расход материала на стены здания; они тяжелее сегментных и арочных ферм, но менее трудоемки.



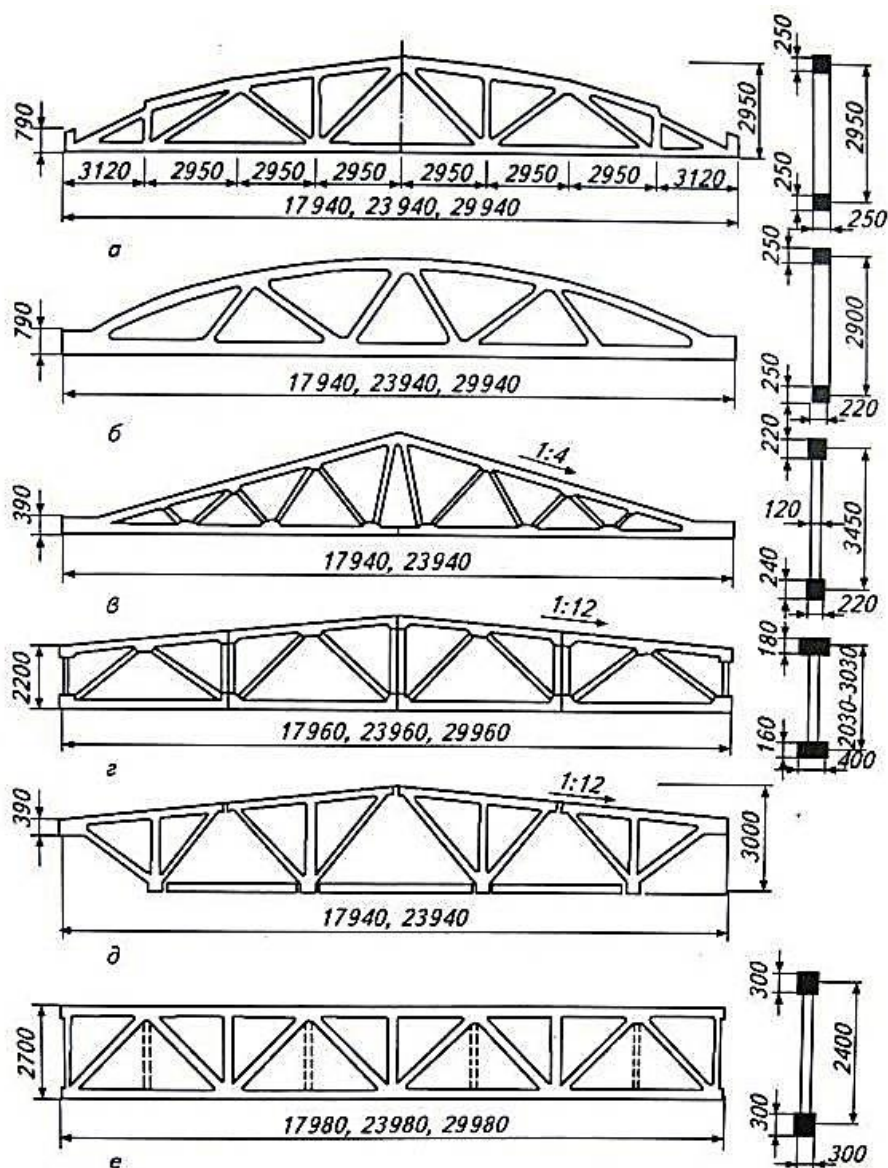


Рисунок 2.16 – Железобетонные фермы покрытий:  
а – сегментные; б – арочная; в – треугольная;  
г – полигональная; д – то же, с понижением поясов;  
е – с параллельными поясами

Роль связей по верхнему поясу фермы выполняют жесткие кровельные панели, привариваемые в узлах. Устанавливаются фермы на оголовники железобетонных колонн и крепятся к ним при помощи анкерных болтов и сварки закладных опорных деталей.

С целью снижения веса фермы используют бетон классов В30–В50 и высокий процент армирования (2–3 %).

**Деревянные фермы** – могут быть представлены в виде бревенчатых или брусчатых висячих стропил. Деревянные фермы применяют для перекрытия пролетов 9–36 м. Тем не менее, в мировой практике известны примеры применения ферм пролетом 70 м. В нашей стране используются деревянные фермы индустриального изготовления – сегментные, многоугольные, трапециевидные, треугольные и шпренгельные (рисунок 2.17). Верхний (сжатый) пояс и раскосы деревянных ферм изготавливают из брусьев квадратного или прямоугольного сечения со стороной, равной  $1/50$ – $1/80$  от пролета, нижний (растянутый) пояс и подвески выполняют как из брусьев, так и из стальных тяжей с винтовыми нарез-

ками на концах для натяжения их с помощью гаек с подкладными шайбами. Устойчивость деревянных ферм обеспечивают деревянные раскосы и связи, установленные по краям и в середине фермы перпендикулярно их плоскости, а также кровельные настилы, образующие жесткий диск покрытия.

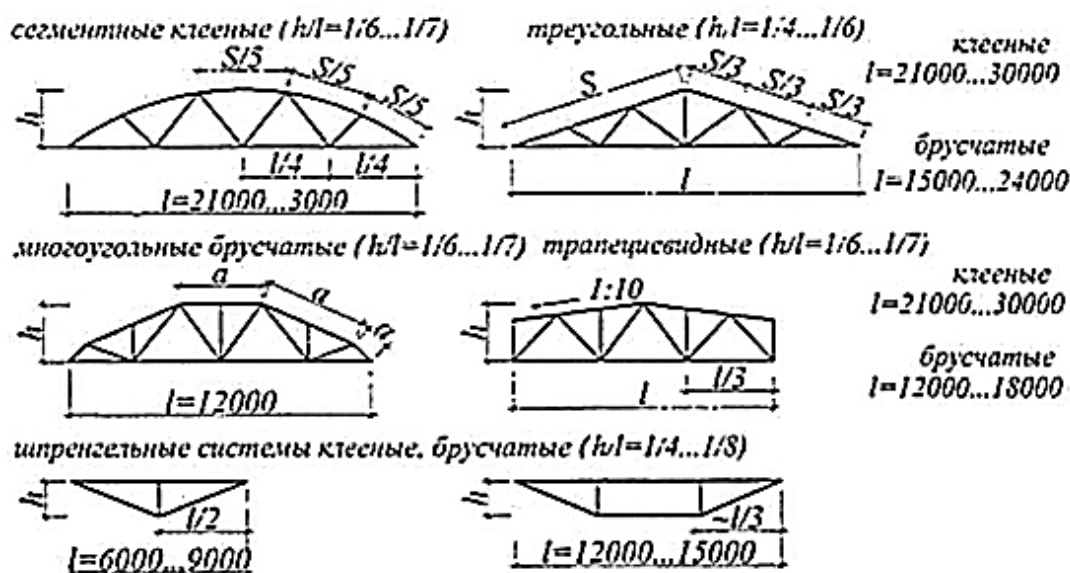


Рисунок 2.17 – Примеры типовых деревянных стропильных ферм

Верхний пояс фермы выполняют из брусев или клееных досок. Длина панелей верхнего пояса брусчатой фермы определяется шагом прогонов (или шириной кровельных панелей), так как ограниченное сечение бруса (максимум 250х250 мм) не в состоянии противодействовать изгибу, возникающему от размещения прогонов между узлами. Межузловое размещение прогонов возможно лишь для клееных ферм, высота сечения поясов которых практически неограниченна. Поэтому длина панели клееной фермы может быть 6 м и более. При этом число узлов сокращается, и снижаются затраты на их изготовление. Рекомендуемый шаг деревянных ферм 4,5–6 м, а при больших нагрузках или подвесном потолке – 3–4,5 м.

Сегментные фермы пролетом 12–36 м делают металлодеревянными с треугольной решеткой. Верхний пояс собирают из криволинейных блоков прямоугольного сечения из склеенных плашмя досок толщиной до 33 мм. Криволинейные блоки верхнего пояса стыкуют либо «в упор», либо с помощью стальных коробчатых вкладышей. В обоих случаях стыки перекрывают стальными или деревянными накладками. Панели сегментных ферм рекомендуется делать длиной до 6 м. При этом прогоны размещают с шагом 1,5–2 м между узлами, что служит эффективным средством снижения величины изгибающего момента. Усилия в элементах решетки этих ферм невелики, поэтому все они изготавливаются деревянными с металлическими узловыми соединительными наконечниками.

Многоугольные брусчатые фермы имеют сравнительно короткие (до 3 м) панели верхнего пояса и треугольную решетку со стойками. С целью уменьшения количества стыков каждые две смежные панели делают из одного бруса, а деревянные треугольники, обращенные вершинами вниз, соединяются металлическим нижним поясом. В таких фермах усилия в поясах постоянны, а в решетке невелики. Поэтому сечения поясов во всех панелях проектируют одинаковыми, элементы решетки (сжатые и растянутые) выполняют деревянными. Опорные узлы многоугольных ферм аналогичны узлам сегмент-

ных ферм.

Трапецевидные фермы имеют незначительный ( $1/11$ – $1/12$ ) уклон верхнего пояса и предназначены для рулонных кровель. Фермы, как правило, двухскатные, реже односкатные. Верхний пояс бывает брусчатым или клееным. Длина панелей брусчатых ферм – до 3 м, клееных, подвергающихся изгибу от межузлового приложения нагрузки, – до 6 м.

Треугольные фермы применяют для кровель с крутым уклоном – от  $1:2$  до  $1:4$  (асбестоцементные плиты, кровельная сталь, черепица). Их оптимальная относительная высота находится в пределах ( $1/4$ – $1/6$ ). Продолжительное время такие фермы выполнялись с узлами на врубках. Современная конструкция фермы усовершенствована за счет модернизации узлов, главным образом опорных, с использованием стальных деталей. Типизированные фермы индустриального изготовления бывают четырех- и шестипанельными с металлическими нижними поясами и растянутыми элементами решетки. Верхний пояс изготавливают брусчатым или клееным.

Шпренгельные системы представляют собой неразрезные балки из брусьев или клееных блоков с одной или двумя промежуточными опорами в виде стоек, поддерживаемых стальной тягой, которая своими концами прикрепляется к бачке.

Фермы с параллельными поясами используют в качестве стропильных в особых случаях компоновки покрытия. Такие фермы обычно имеют раскосную решетку.

В практике отечественного строительства применяют фермы пролетом 15, 18, 21 и 24 м, верхний пояс которых выполняется из неразрезного пакета досок шириной 170 мм на клею ФР12. Раскосы выполняются из брусков такой же ширины, нижний пояс из прокатных уголков, а подвески – из круглой стали (рисунок 2.18).

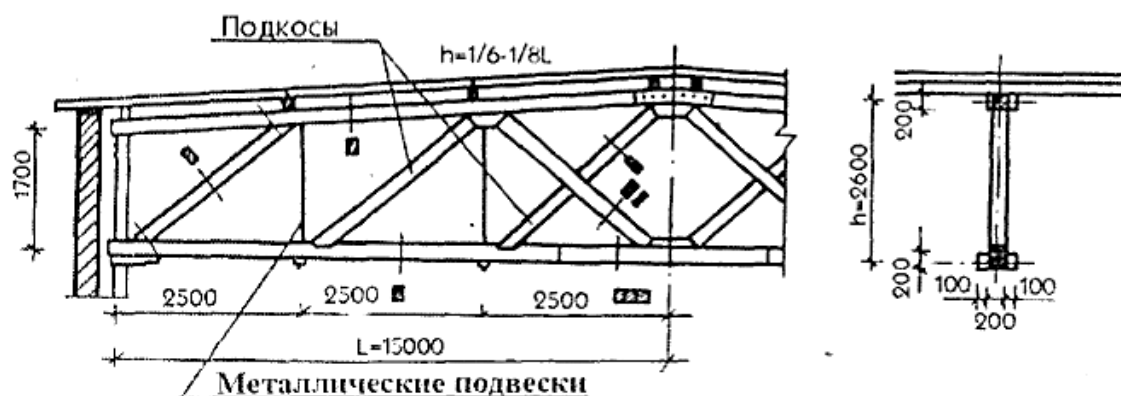


Рисунок 2.18. – Деревянная ферма

**Металлодеревянные фермы** – были разработаны ЦНИИЭП учебных зданий, ЦНИИЭП зрелищных зданий и спортивных сооружений и ЦНИИСК Госстроя СССР в 1973 г. Эти фермы устанавливаются через 3 и 6 м и могут быть использованы для кровельных покрытий в двух вариантах: а) с теплым эксплуатируемым подвесным потолком и холодными кровельными панелями; б) без подвесного потолка и теплыми кровельными панелями.



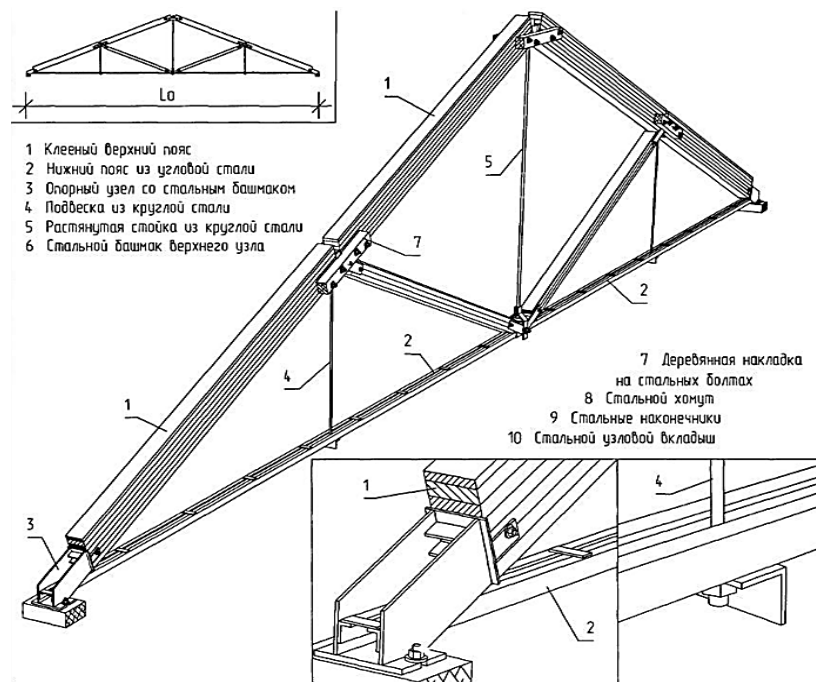


Рисунок 2.19 – Металлодеревянная ферма

Зал Конгрессов и спорта в Эссене имеет покрытие размером  $80,4 \times 72$  м (Рисунок 2.9).

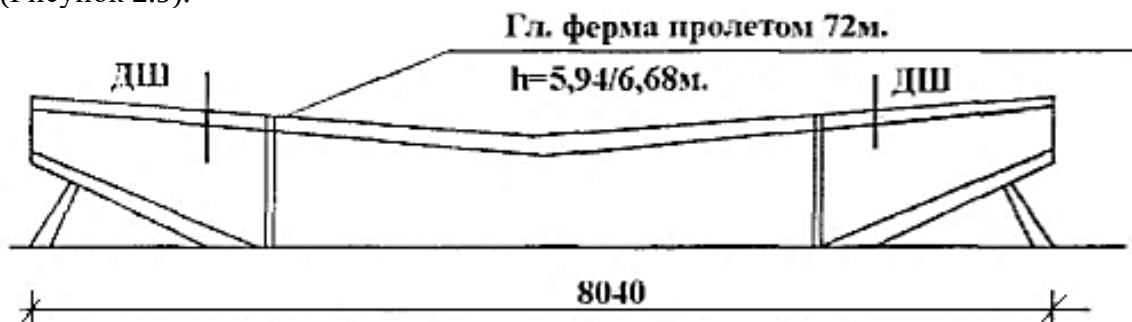


Рисунок 2.20– зал конгрессов в Эссене (ФРГ). Размеры покрытия  $80,4 \times 72,0$ . Покрытие опирается на 4 решетчатых стойки. Главные фермы имеют пролет 72,01 м, второстепенные – 80,4 м с шагом 12 м

Покрытие опирается на четыре решетчатых стойки, состоящие из четырех ветвей. Одна из стоек жестко закреплена в фундамент, две стойки имеют катковые опоры, четвертая стойка выполнена качающейся и может перемещаться в двух направлениях. Две главные полигональные клепаные фермы опираются на опорные стойки и имеют пролет 72 м и высоту 5,94 и 6,63 м в середине пролета и соответственно 2,40 и 2,54 м – на опорах. Пояса главных ферм имеют коробчатое сечение шириной более 600 мм, раскосы – составные, двутаврового сечения. Двухконсольные, сварные второстепенные фермы пролетом 80,4 м опираются на главные фермы с шагом 12 м. Верхний пояс этих ферм имеет сечение в виде тавра, нижний – в виде двутавра с широкими полками. Для обеспечения свободных вертикальных деформаций на расстоянии 11 м от краев крыши устроены сквозные шарниры как в ограждающей конструкции покрытия, так и в фермах и в подвесном потолке. Концы ферм длиной 11 м опираются на легкие качающиеся стойки, рас-

положенные на трибунах. Крестовые ветровые горизонтальные связи расположены между главными и между крайними второстепенными фермами, а также вдоль продольных стен на расстоянии 3,5 м от края покрытия. Прогоны и обрешетка изготовлены из двутавров. Здание покрыто плитами из прессованной соломы толщиной 48 мм, по которым уложен гидроизоляционный ковер из четырех слоев горячего битума на стекловолокне.

### 2.3 Рамы

Рамы являются плоскостными распорными конструкциями. В отличие от безраспорной балочно-стоечной конструкции, ригель и стойка в рамной конструкции имеют жесткое соединение, которое является причиной появления в стойке изгибающих моментов от воздействия нагрузок на ригель рамы. Рамные конструкции выполняют с жесткой заделкой опор в фундамент, если отсутствует опасность появления неравномерных осадок основания. Особая чувствительность рамных и арочных конструкций к неравномерным осадкам приводит к необходимости устройства шарнирных рам (двухшарнирных и трехшарнирных).

Учитывая то, что рамы не имеют достаточной жесткости в своей плоскости, при устройстве покрытия необходимо обеспечить продольную жесткость всего покрытия путем замоноличивания элементов покрытия или установки рам диафрагм нормально к плоскости, или связей жесткости. Рамы могут изготавливаться из металла, железобетона или дерева.

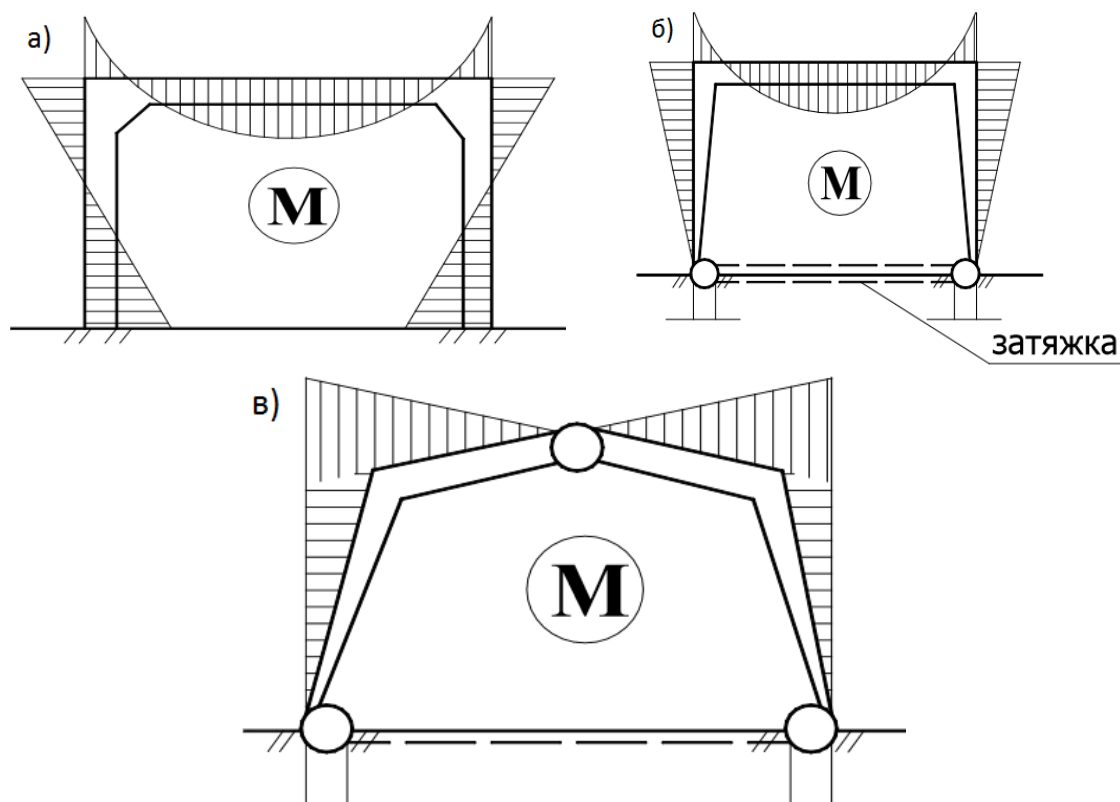


Рисунок 2.21– а – безшарнирная; б – двухшарнирная;  
в – трехшарнирная

**Металлические рамы.** Металлические рамы используют для перекрытия больших пролетов – от 40 до 150 метров. Трехшарнирные рамы применяют при сравнительно небольших пролетах. Большие пролеты перекрывают двухшарнирными и бесшарнирными-

рамами. Они отличаются повышенной жесткостью, легкостью и меньшим расходом материала. Их рационально применять при пролетах более 100 м. При пролетах более 60 м сплошнотенчатые рамы уступают место рамам сквозным. Металлические рамы могут выполняться как сплошного, так и решетчатого сечения. Решетчатое сечение характерно для рам с большими пролетами, так как оно более экономично благодаря небольшой собственной массе и способности одинаково хорошо воспринимать как сжимающие, так и растягивающие усилия. Высота сечения ригелей решетчатых рам принимается в пределах  $1/20$ – $1/25$  пролета, а рам сплошного сечения  $1/25$ – $1/30$  пролета. Шаг рам обычно принимается равным 6 или 12 м. Для уменьшения высоты сечения ригеля как сплошного, так и решетчатого металлических рам применяются разгружающие консоли, иногда снабженные специальными оттяжками.

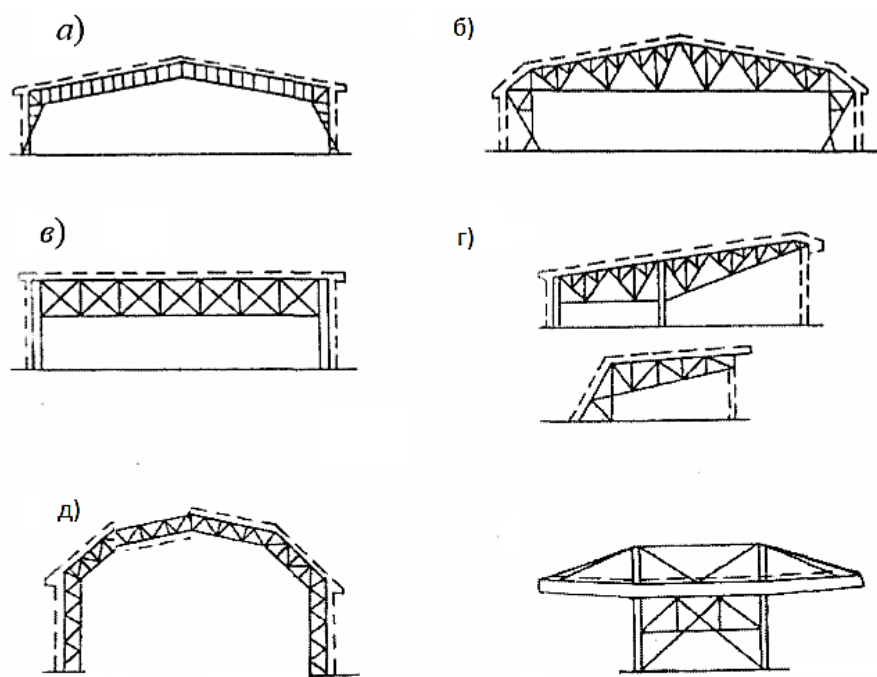


Рисунок 2.2– а – рама с шарнирным опиранием; б – с гибкими стойками; в – одноконсольная; г – полигональная; д – двухконсольная висячая рама

**Железобетонные рамы** как основные конструкции зданий павильонного типа проектируют монолитными, сборными и сборно–монолитными. Перекрываемые ими пролеты колеблются в широких пределах – от 12 до 120 м. Более крупные пролеты перекрывают сборными рамами с ригелями из предварительно напряженного железобетона. Для рам большепролетных используют сборные конструкции с напрягаемой арматурой. Их проектируют из блоков, внутри которых вдоль криволинейных каналов, образуемых при бетонировании, протягивается проволоочная арматура в виде пучков с натяжением на бетон после сборки всей рамы. Арматуру располагают в зонах растяжения, определяемых эпюрами изгибающих моментов. Сечения элементов проектируют прямоугольными или тавровыми. Для железобетонных рам типичны двухшарнирная и бесшарнирная схемы с шарнирным и жестким соединениями стоек с фундаментами. Жесткие узлы рамных конструкций характерны для железобетона и отвечают его свойствам. Поэтому железобетонные рамы получили в строительстве широкое распространение. Высота ригеля сплошного сечения составляет около  $1/20$ – $1/25$  пролета рамы, решетчатого сечения

1/12– 1/15 пролета. Рамы могут быть однопролетными и многопролетными, монолитными и сборными. При сборном решении соединение отдельных элементов рамы целесообразно выполнить в местах минимальных изгибающих моментов.

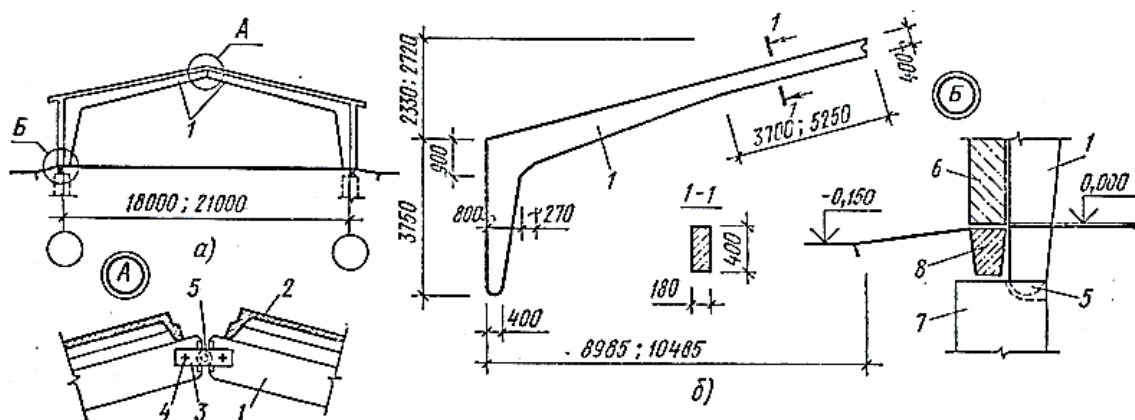


Рисунок 2.23– Железобетонные рамы для однопролетных зданий:  
а – разрез здания; б – полурамы для зданий пролетом 18 и 21 м; 1 – полурама,  
2 – плита покрытия; 3 – полосовая сталь;  
4 – болт; 5 – шарнир; 6 – стеновая панель; 7 – столбчатый фундамент;  
8 – фундаментная балка

**Деревянные рамы.** Наиболее распространены их схемы: трех- и двухшарнирная. По конструкции рамы бывают брусчатыми, дощатоклееными, клефанерными и гвоздевыми пролетом до 50 м. Брусчатые рамы встречаются главным образом в сельскохозяйственном строительстве при небольших (до 12 м) пролетах. Дощатоклеенные рамы широко применяют в современном строительстве, это обусловлено рядом их достоинств: простотой конструкции, индустриальностью изготовления, сплошностью сечения, что повышает огнестойкость сооружения. Для рам этого типа используются двух- и трехшарнирные схемы: консольные свесы ригеля позволяют получить дополнительный экономический и архитектурно-планировочный эффект. Высота ригеля из гвоздевых рам принимается около 1/12 пролета рамы, у клееных рам – 1/15 пролета. Пример строительства зданий с использованием деревянных рам.

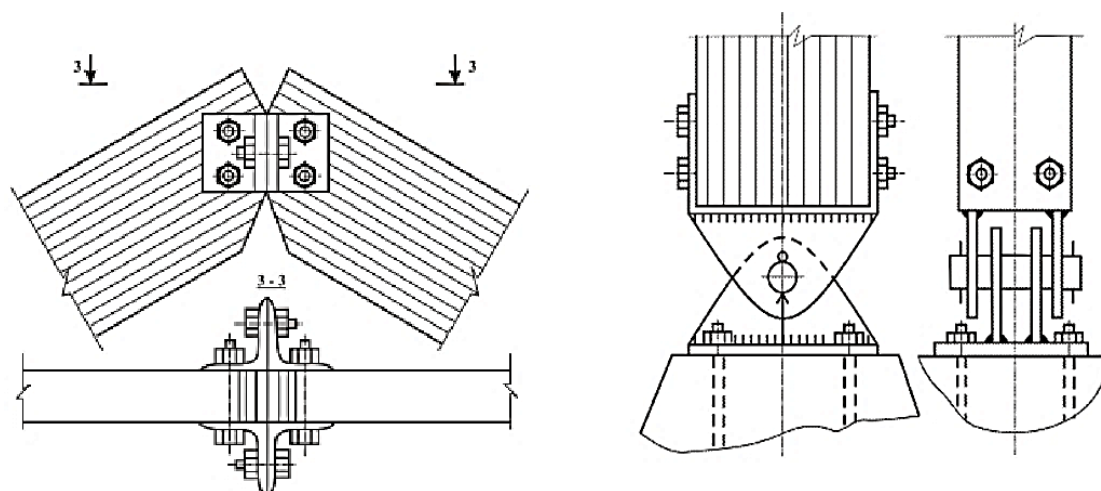


Рисунок 2.24– Коньковый и опорный узлы дощатоклееных рам

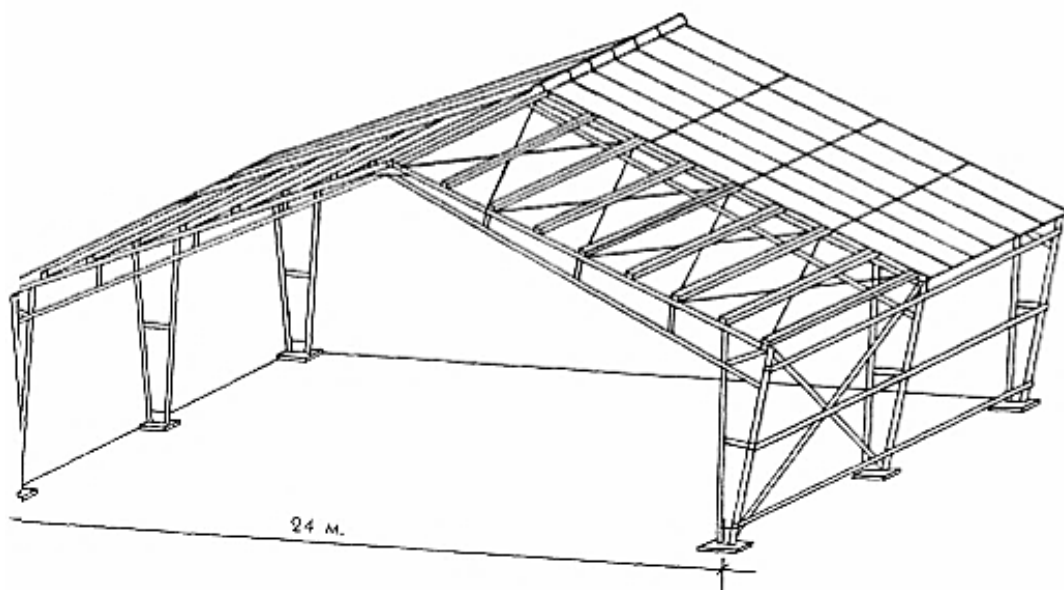


Рисунок 2.25– Каркас складского здания с деревянными клефанерными рамами

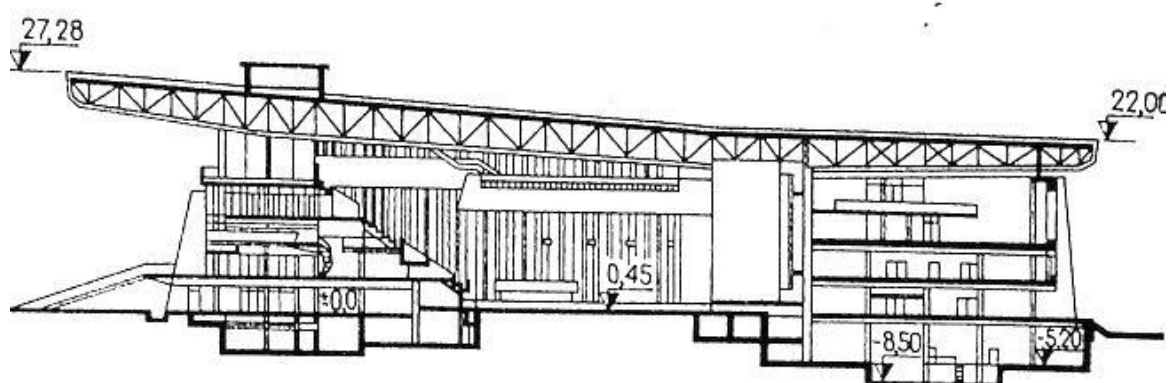


Рисунок 2.26 – Рамные покрытия Дворца спорта в г. Тольятти

## 2.4 Арки

**Арка** – плоский изогнутый стержень, с неподвижными опорами по концам. Арки, как и рамы, являются плоскостными распорными конструкциями. Они еще более чувствительны к неравномерным осадкам, чем рамы. Очертание оси арки может быть параболическим, круговым, эллиптическим. Встречаются арки коробовые (многоцентровые), «ползучие» (опоры расположены на разных уровнях), а также треугольные распорные системы (рисунок 2.27).

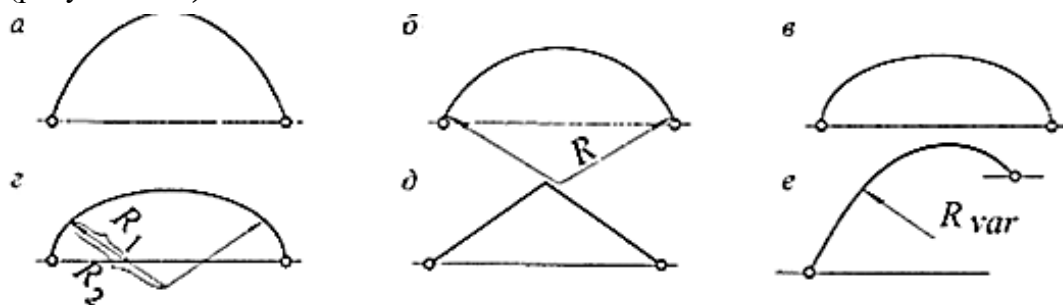


Рисунок 2.27 – Очертания осей арок: а– параболическая; б– круговая; в– эллиптическая; г– коробовая; д– треугольная; е– «ползучая»

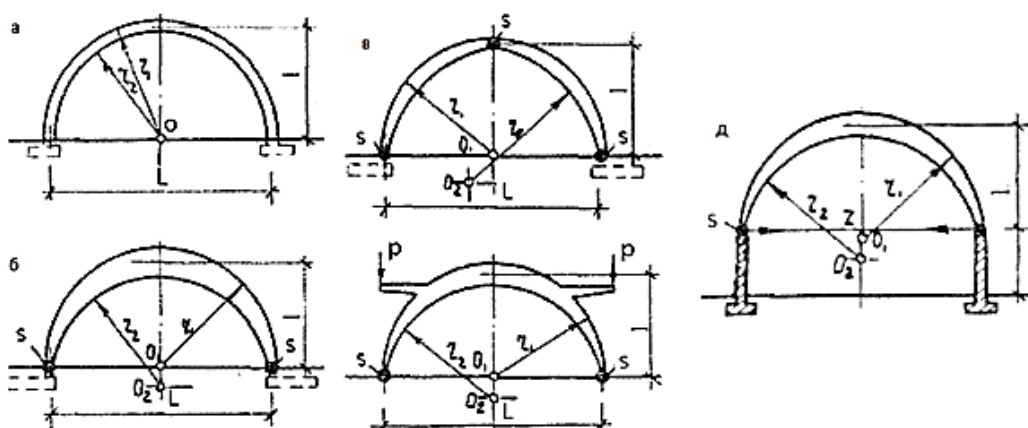


Рисунок 2.28– а – бесшарнирная; б – двух шарнирная;  
в – трехшарнирная; г – двухшарнирная с разгружающими консолями;  
д – двухшарнирная с затяжкой, воспринимающей распор

Устойчивость покрытия обеспечивается жесткими элементами ограждающей части покрытия. Для пролетов 24–36 м возможно применение трехшарнирных арок из двух сегментных ферм (Рис 2.29). Во избежание провисания затяжки устанавливают подвески.

Трехшарнирная арка статически определима, она не чувствительна к смещениям опор и колебаниям температур; удобна в монтаже и перевозке в виде полуарок. Однако в силу неравномерного распределения изгибающих моментов по своей длине наиболее материалоемка.

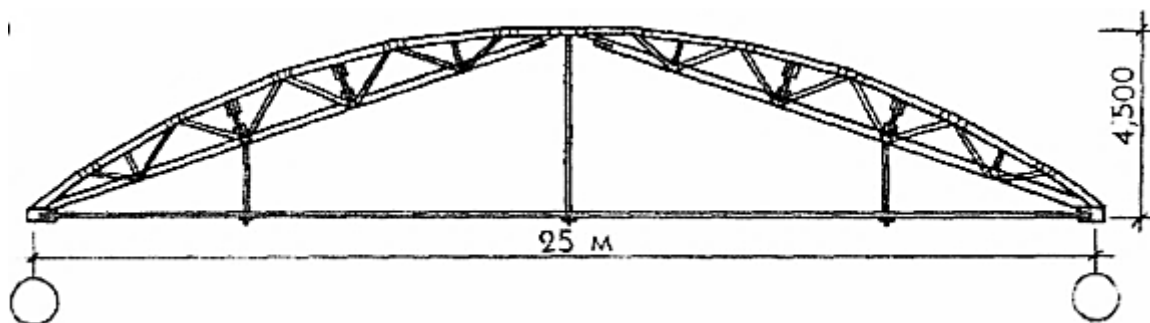


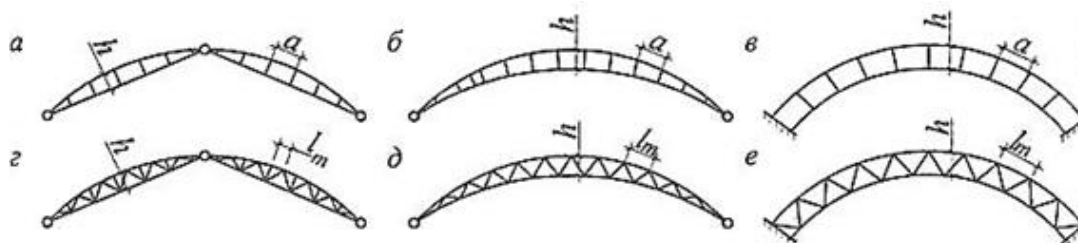
Рисунок 2.29–трехшарнирная арка из многоугольных ферм

Двухшарнирная арка единожды статически неопределима. Распор ее меньше, чем у трехшарнирной арки. Отличается более благоприятным распределением изгибающих моментов по своей длине, в силу чего получила наибольшее распространение.

Бесшарнирная арка трижды статически неопределима. Защемление ее в опорах способствует более равномерному распределению моментов по длине, благодаря чему конструкция отличается легкостью. Однако этот фактор делает ее чувствительной к осадкам опор и температурным воздействиям. Такая арка требует надежного основания и мощных фундаментов, что не всегда осуществимо по техническим и экономическим причинам,



В конструктивном решении арки бывают сплошного профиля (сплошностенчатые)



или сквозные (решетчатые). Контуры арок, очерчиваемые их поясами, могут быть сегментными, серповидными или иметь постоянную высоту (рисунок 2.30).

Рисунок 2.30 – Конструктивные схемы арок:  
а, б, в – сплошного профиля; г, д, е – сквозные

Распор в арках воспринимают затяжки, фундаменты или жесткие опорные конструкции (рисунок 2.31). Пологие арки, как правило, имеют затяжки. Арки подъемистые, устанавливаемые на грунтовом основании, передают распор фундаментам, контрфорсам. При слабых грунтах или значительных распорных усилиях, во избежание сдвига фундамента, устраивают в плоскости пола или под ним дополнительную затяжку. Чем положе арка, тем больше распор.

При загрузении в верхнем поясе арки возникают сжимающие усилия, увеличивающиеся к опорам, и изгибающие моменты, особенно при одностороннем расположении временной нагрузки. В затяжке действуют растягивающие усилия.

Арка, очертание оси штормой совпадает с «кривой давления» (например, параболическая), испытывает только сжатие. В противном случае в ней возникают изгибающие моменты.

Пологие арки часто делают круговыми. Отклонение окружности от параболы или цепной линии тем меньше, чем положе арка.

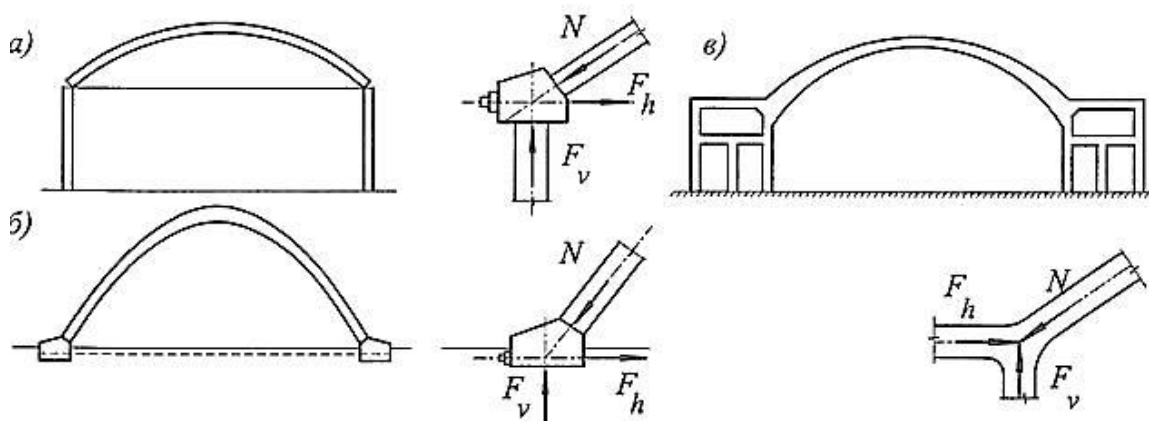


Рисунок 2.31 – Основные способы восприятия распора арок:  
а – затяжкой; б – грунтовым основанием и затяжкой;  
в – примыкающим сооружением

**Металлические арки** могут перекрывать пролеты от 30 до 150м. Металлические арки выполняются сплошного и решетчатого сечения. Высота ригеля сплошного сечения арок применяется в пределах 1/50–1/80. Отношение стрелы подъема к пролету у всех арок находится в пределах 1/2–1/4 при параболическом очертании кривой и 1/4–1/8 при круговой кривой. Поперечное сечение поясов арок небольших пролетов выполняют обычно



из прокатных профилей, а более мощных арок – в виде двутавровых или коробчатых профилей (рисунок 2.32. а – в). Ребра жесткости устанавливают на расстояниях, примерно равных высоте сечения арки. Такие арки рассчитывают на прочность как сжато-изогнутые элементы.

Иногда из функциональных соображений проектируют системы из двух прямолинейных элементов (см. рис. 2.25 д). высоту их сечения принимают равной

$1/15-1/20$  пролета. По сравнению с криволинейными арками такие конструкции малоэффективны.

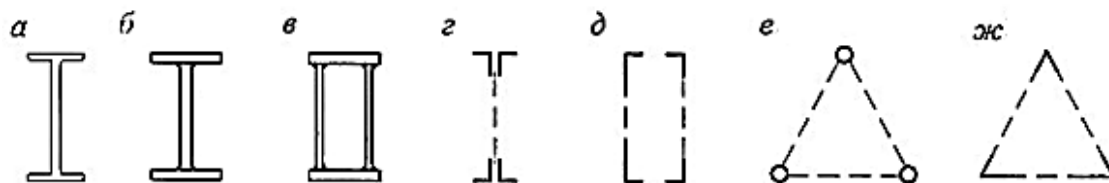


Рисунок 2.32 – Сечения поясов металлических арок:

а – в – сплошностенчатых; г–ж – сквозных

Сквозные (решетчатые) арки применяют при пролетах более 60м. Они проектируются преимущественно с параллельными поясами. Высота сечения таких арок составляет  $1/30-1/60$  пролета, поскольку они имеют меньшую жесткость. Пояса арок компонуют из уголков, швеллеров, двутавров, труб. При больших пролетах и усилиях сквозные арки делают пространственными с треугольным или четырехугольным поперечным сечением (рисунок 2.32.г–ж). Решетка, выполняемая из одиночных профилей, – обычно треугольная, часто с дополнительными стойками, уменьшающими длину сжатых панелей.

Сечения сплошных и сквозных арок рекомендуется принимать постоянными по всей длине. Решетка, выполняемая из одиночных профилей, – обычно треугольная, часто с дополнительными стойками, уменьшающими длину сжатых панелей. Иногда двух- и трехшарнирные арки с целью экономии металла проектируют серповидными или сегментными.

На рисунке 2.33, представлены примеры из практики строительства.

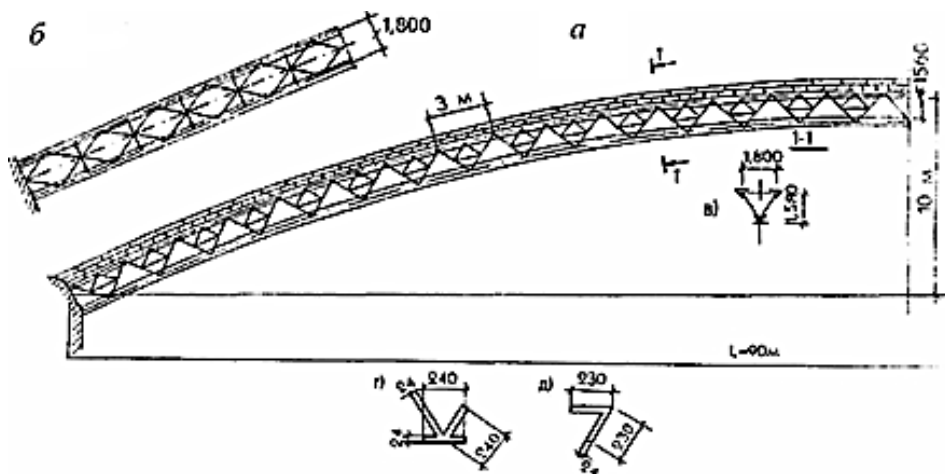


Рисунок 2.33– а – общий вид арки; б – решетка верхнего пояса;  
в – сечение арки; г – сечение нижнего пояса; д – сечение верхнего пояса

Шаг сплошных арок (вдоль здания) принимают равным 6–12 м, а сквозных – 12–24 м. При шаге 6 м покрытие выполняют беспрогонным с укладкой плит на верхний пояс

арки. При шаге 12...24 м в качестве прогонов используют решетчатые фермочки, устанавливаемые с шагом 6 м, а по ним укладывают плиты покрытия.

Наиболее сложны в арках опорные и ключевые шарниры. Опорные шарниры бывают трех типов: плиточные, пятниковые и балансирные. Опорные и ключевые шарниры сплошнотенчатых и сквозных арок, как правило, однотипны. Примеры конструкций опорного и ключевого узлов арки даны на рисунке 2.34.

**Железобетонные арки**, как и металлические, могут иметь сплошное и решетчатое сечение ригеля. Железобетонные арки можно применять, начиная с пролета 18 м, но экономичнее ферм они становятся при пролетах более 30 м. Наиболее целесообразно перекрывать ими пролеты от 36 до 80 м.

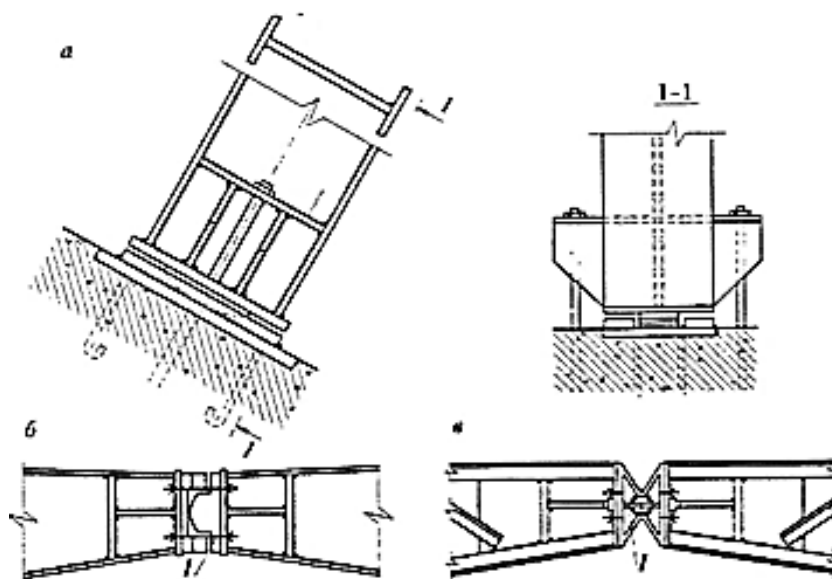


Рисунок 2.34 – Примеры узлов металлических трех-и двухшарнирных арок:  
а – опорный плиточный шарнир; б – ключевой шарнир трехшарнирной арки, плиточный; в – то же, балансирный; 1 – стяжной болт

Наиболее распространенные – это двухшарнирные арки пролетом до 36 м. Их выполняют пологими со стрелой подъема  $f = (1/6 - 1/8)l$ . Распор обычно воспринимается затяжкой. Сборные арки больших пролетов выполняются составными, из двух полуарок, бетонируемых на листе в горизонтальном положении, а затем поднимаемых в проектное положение (рисунок 2.35). Распор передается на фундаменты и грунты основания. При слабых грунтах устраивают затяжку; расположенную ниже уровня пола.

Арки могут быть сборными в виде монтажных блоков длиной от 6 до 12 м или монолитными. Их выполняют из бетона классов В30 и В40. Шаг арок 6–12 м. По аркам укладывают железобетонные панели покрытия, крепящиеся с помощью сварки закладных деталей и выполняющие также функции горизонтальных связей. Конструктивная высота сечения ригеля, решетчатых арок  $1/20 - 1/30$  пролета.

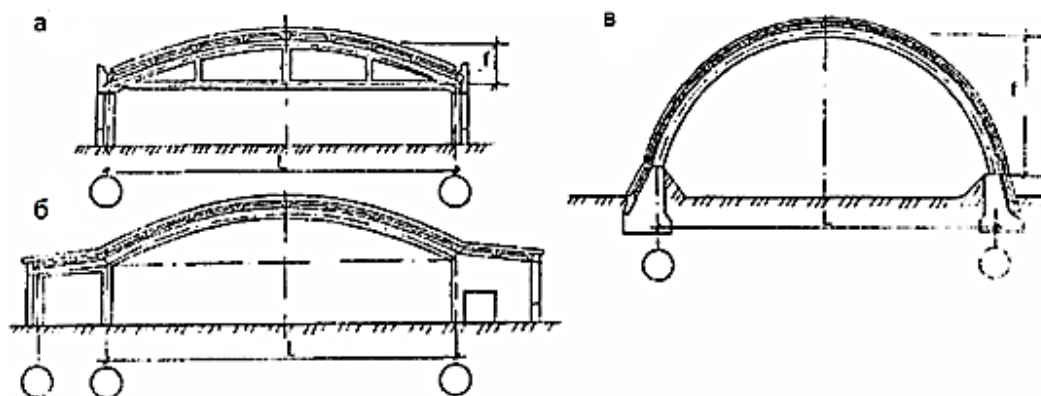


Рисунок 2.35— а – арка с затяжкой на колоннах;  
б – опирание арки на рамы; или контрфорсы;  
в – опирание арки на фундаменты

Сплошнотенчатые арки (рисунок 2.36,а) применяются при пролетах до 48 м. Стрела подъема  $f = (1/5 - 1/8)l$ . Высота сечения верхнего пояса арки  $h = (1/30 - 1/40)l$  принимается по условию устойчивости; ширина сечения  $b = (0,4 - 0,5)h$ .

Сечение арки бывает прямоугольным или двутавровым с отношением  $h/b \leq 6$ . В стенке двутавра для облегчения конструкции и пропуска инженерных коммуникаций могут устраиваться круглые или прямоугольные отверстия.

Арки пологие, устанавливаемые на колонны или высокие стены, снабжают затяжками из стали (круглой, профильной) или железобетона с предварительно напряженной арматурой. Для уменьшения провисания затяжки через каждые 5–6 м устанавливают стальные или железобетонные подвески

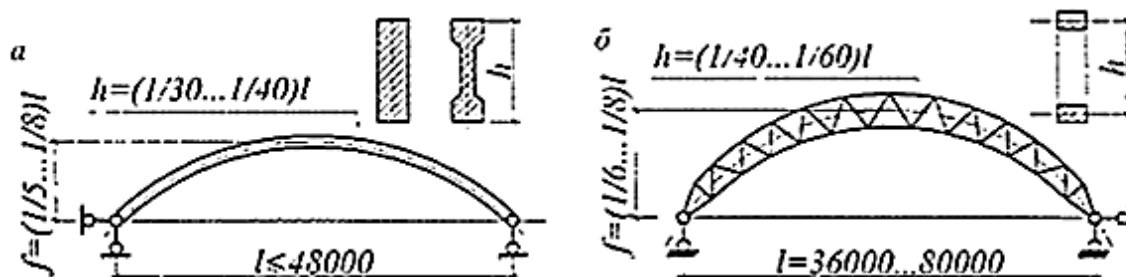


Рисунок 2.36 – Типы железобетонных арок:  
а – сплошнотенчатая; б – сквозная

В конструктивном отношении выгодно очертание оси арки, близкое к кривой давления. В этом случае она испытывает только сжатие. При равномерно распределенной нагрузке и несмещаемых опорах кривая давления арки будет квадратной параболой. Однако на практике полного совпадения оси арки с кривой давления достичь не удастся, так как из-за усадки и ползучести бетона, различных схем загрузки временной нагрузкой неизбежно возникают изгибающие моменты.

В целях типизации конструкции и упрощения производства работ, очертание оси пологой двухшарнирной арки обычно выполняют по дуге окружности. В расчетной схеме ее очертание принимают по квадратной параболе. Усилия в сечениях, вычисленные от разных загрузок, сводят в таблицу, из которой устанавливают их максимальное и минимальное расчетные значения. Конструирование арок выполняют по общим правилам для внецентренно сжатых элементов.

Стыки блоков верхнего пояса сборной арки решаются путем сварки выпусков стержневой арматуры в зазорах между блоками с последующим замоноличиванием стыков, а непрерывность работы затяжки обеспечивается пропуском через нее арматуры с последующим натяжением в опорных узлах.

Сквозные арки (рисунки 2.36, б) характерны для пролетов более 36 м, когда применение сплошного сечения становится экономически нецелесообразным. В этом случае стенку арки заменяют решеткой, превращая ее в арочную ферму. Стрела подъема принимается по аналогии с простыми арками. Высота сечения арки  $h = (1/40 - 1/60)l$ . Сечения поясов и решетки – прямоугольные, близкие к квадрату. Решетка верхнего пояса треугольная или безраскосная. Сечения элементов арок в зависимости от знака усилия определяют по формулам для сжатых и растянутых стержней.

Как правило, сквозные арки делают сборными в виде унифицированных блоков постоянной высоты и длиной до 12 м.

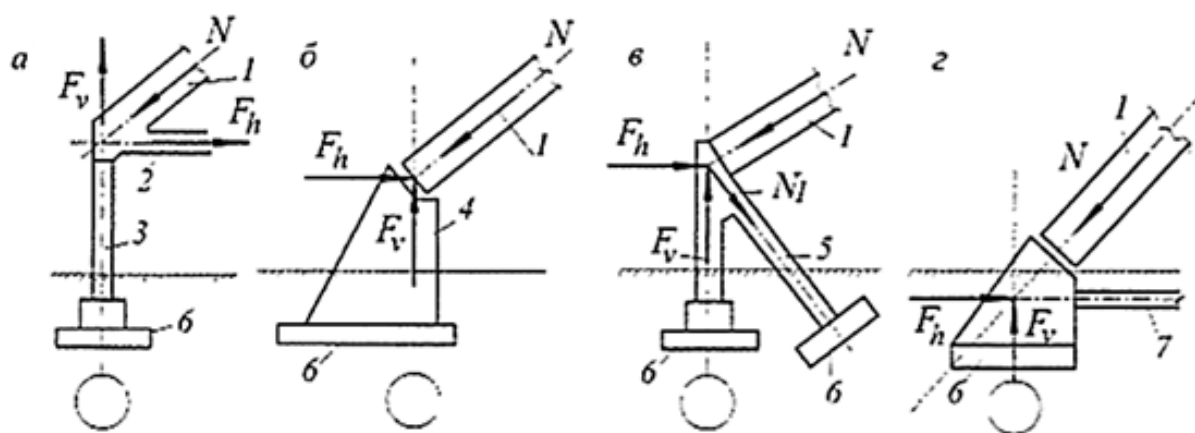


Рисунок 2.37 – Варианты опирания

железобетонных арок и способы погашения распора:

а – затяжкой; б – контрфорсом; в – рамой; г – фундаментом: 1 – арка;

2 – затяжка; 3 – колонна; 4 – пилон; 5 – рама;

6 – фундамент; 7 – подпольная затяжка

**Деревянные арки** выполняются из гвоздевых и клееных элементов. Отношение стрелы подъема к пролету у гвоздевых арок составляет  $1/15 - 1/20$ ,

у клееных –  $1/20 - 1/25$ . Деревянные арки могут перекрывать пролеты от 12 до 100 м. Сплошностенчатые арки по технологическим соображениям делают, как правило, с постоянным радиусом кривизны. Стрела подъема  $f = 1/4 - 1/10$  пролета  $l$ .

Поперечное сечение криволинейной арки комплектуется из пакета склеенных досок толщиной до 33 мм (дощатоклееные арки). Предпочтительна прямоугольная форма сечения с отношением сторон  $h/b \leq 4$ . Высота сечения арки  $h = (1/30 \dots 1/50)l$ .

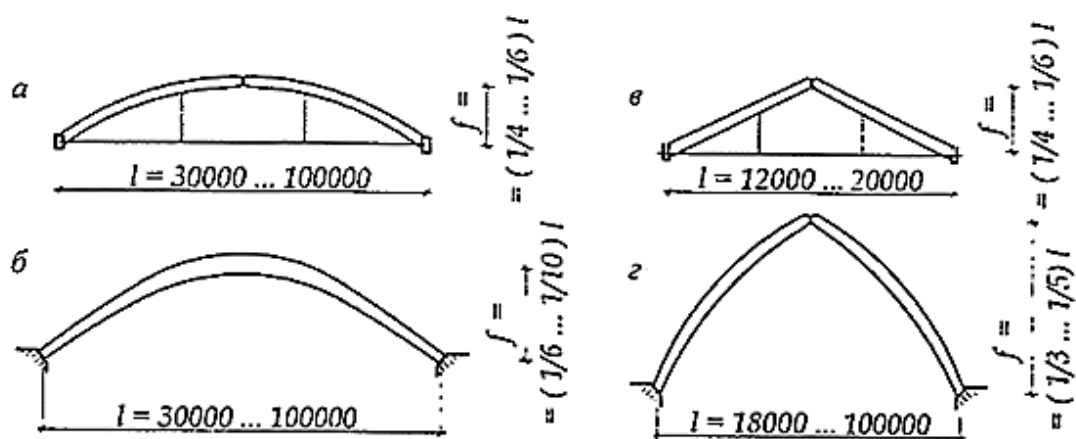


Рисунок 2.38 – Примеры сплошностенчатых арок из пакетов клееных досок:  
 а – трехшарнирная круговая; б – двухшарнирная серповидная; в – треугольная;  
 г – с круговыми полуарками

Доштоклеенные арки бывают двух- и трехшарнирными. При пролете до 24 м и  $f = (1/8 - 1/6)l$  целесообразно применять двухшарнирные арки как более экономичные при их транспортировании. При больших пролетах рациональны трехшарнирные арки. Минимальная высота сечения полуарок, исходя из предельной гибкости

$\lambda_{\max} = 120$ , составляет  $S/36$  (где  $S$  – длина полуарки).

Конструкцию треугольного очертания проектируют с применением прямоугольных доштоклеенных элементов со стальной затяжкой или опиранием на фундаменты.

Проверка прочности арок производится по формулам для сжато-изогнутых элементов.

Сквозные арки выполняют, как правило, трехшарнирными. Они состояются из пары ферм, соединенных в ключе. Чаще всего используют фермы сегментные или с концентрическими поясами. Нижний пояс фермы делают деревянным, так как он может работать на сжатие (влияние распора арки). Криволинейный пояс выполняют из пакета клееных досок, прямолинейный – из досок или брусьев.

Высота сквозных арок принимается равной  $(1/20 - 1/40)l$ . Шаг арок – 6–12 м.

Наиболее распространенными считаются трехшарнирные арки из брусчатых ферм. Пролеты, перекрываемые такими арками – 20–40 м. Распор может восприниматься металлическими затяжками или фундаментом.

Двухшарнирная арка обычно представляет собой дугообразную ферму с параллельными поясами, раскосной или крестовой решеткой и радиальным расположением стоек.

Конструкция треугольного очертания состоит из ферм с параллельными поясами из цельной или клееной древесины. Такая система находит ограниченное применение, поскольку прямолинейные пояса испытывают, кроме сжатия, значительный изгиб и требуют соответствующего решения опорных и ключевых узлов.

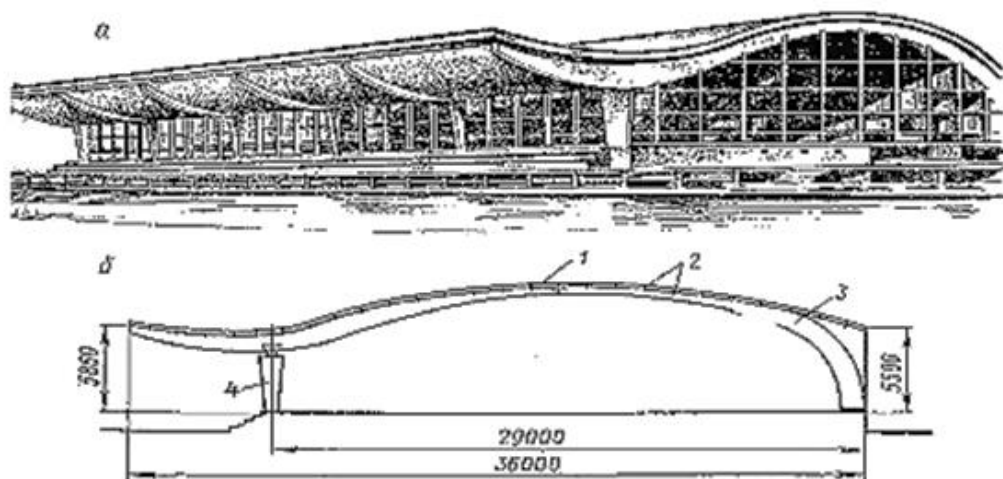
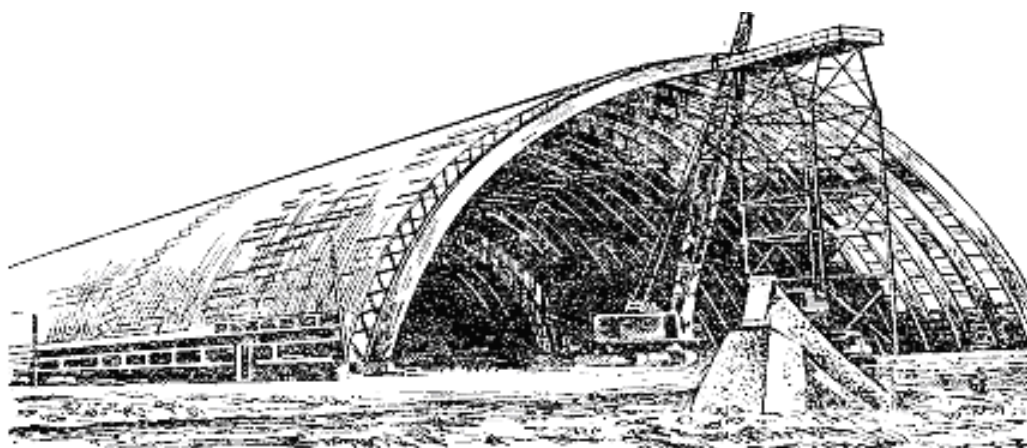


Рисунок 2.39–Клееные арки пролетом 45 м одного из складов химико – металлургического комбината:

- а) Здание плавательного бассейна в Пти-Куруны с покрытием по трех шарнирным деревянным клееным аркам: Общий вид здания: б– поперечный разрез;  
1– настил покрытия; 2– прогоны; 3–арма-железобетонная колонна

## 2.5 Плиты-настилы

В настоящее время применяют два типа подобных плит: с опиранием на основные несущие конструкции (т. е. на стропильные балки, фермы) или же сразу перекрывающие основной пролет здания (плиты «на пролет» или так называемый большепролетный настил).

Плиты покрытий – с опиранием на стропильные конструкции – выполняют в основном ребристыми предварительно напряженными с размерами в плане 3 х 6 и

3 х 12 м. Плиты размером 1,5 х 6 и 1,5 х 12 м используют как доборные и в местах повышенных снеговых отложений. Опираются такие плиты непосредственно на ригели рам и соединяются с ними путем сварки закладных деталей. Плиты имеют продольные и поперечные ребра. Напрягаемую арматуру классов А–IV, Вр–II и К–7 располагают в продольных ребрах. Поперечные ребра, армируемые сварными каркасами, размещаются через 1–1,5 м и позволяют полностью вовлечь в работу сжатую полку плиты. Полка плиты имеет толщину 25–35 мм и армируется сварными сетками. Класс бетона плит – В25, 30.

Конструкция плиты покрытия показана на рисунке 2.40. Плиту покрытия рассчитывают как однопролетную балку, свободно лежащую на опорах, и нагруженную собственным весом, весом ограждающей части покрытия (кровля, стяжка, утеплитель и т. д.) и снеговой нагрузкой. Требуемую площадь сечения продольной арматуры определяют из условия прочности по нормальному сечению на действие изгибающего момента. При этом расчетное сечение плиты – тавровое. Поперечную арматуру плиты из условия прочности по наклонному сечению рассчитывают по расчетной ширине ребра, равной суммарной ширине продольных ребер. Плиты рассчитывают по образованию или раскрытию трещин в зависимости от категории требований к трещиностойкости, а также по прогибам.

Плиты изготавливают по поточно-агрегатной или конвейерной технологии. Их формирование производят на вибростолах, а термообработку, как правило, в камерах периодического действия. Ограниченное число типоразмеров применяемых плит покрытий позволило снабдить заводы сборного железобетона унифицированными опалубочными формами, разработать технологические линии, оборудованные агрегатами серийного производства. Все это создало условия для эффективного использования производственных площадей и повышения производительности труда.

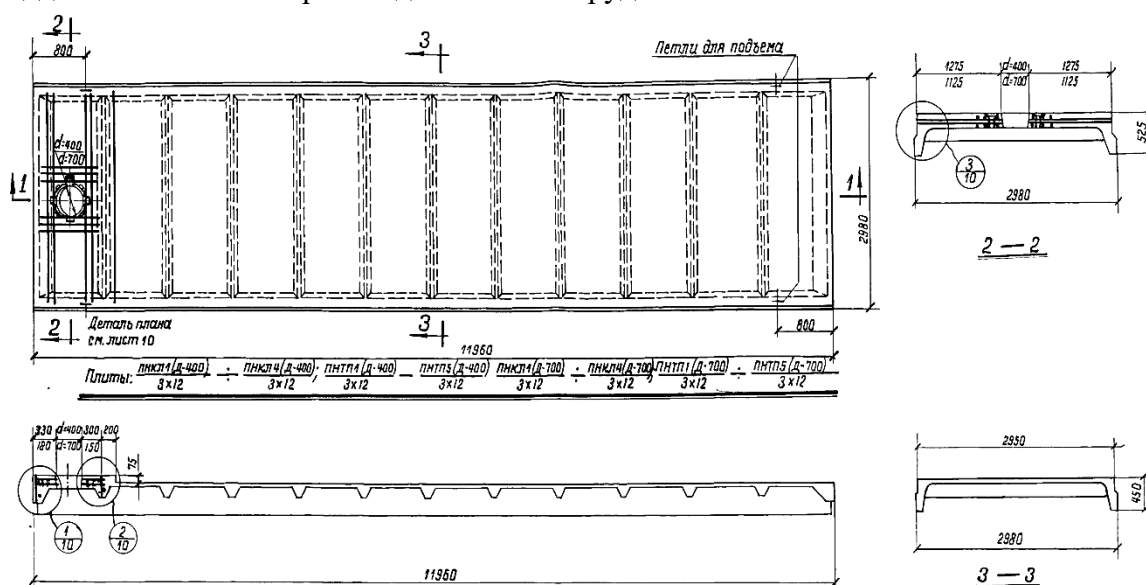


Рисунок 2.40 – Крупнопанельная железобетонная предварительно напряжённая ребристая плита размером 3 x 12 м.

Плиты могут изготавливаться из тяжелого или легкого бетона (керамзитобетон, аглопоритобетон, шлакопемзобетон). Разработаны также новые конструктивные решения двухслойных комплексных плит, сочетающих несущие и теплоизоляционные функции. Ее отличительными особенностями по сравнению с типовой являются: полка плиты выполнена из конструкционно-теплоизоляционного поризованного керамзитобетона плотностью 80–850 кг/м<sup>3</sup> и включена в работу всего сечения; шаг поперечных ребер увеличен до 3 м. Это позволяет снизить расход арматурной стали на 7 %, массу изделия на 8–10 % по сравнению с типовой плитой, утепленной пенобетоном или засыпным керамзитовым гравием. Изготовление плит осуществляется в едином технологическом цикле с использованием оборудования заводов ЖБК. Себестоимость изготовления таких комплексных плит ниже, чем типовых конструкций с плитным утеплителем из полистирольного пенопласта и минераловатных плит повышенной жесткости. Плиты изготавливают на технологической линии по выпуску «холодных» плит 3x12 м в типовых металлических формах, продольные и поперечные борта которых наращены на 135 мм, а пазы для поперечных



ребер через одно закрыты. После установки и натяжения арматуры бетон укладывается в продольные и поперечные ребра, затем бетонируется полка плиты.

Плиты «на пролет» – сравнительно новое, прогрессивное конструктивное решение. Эти плиты перекрывают большой пролет здания, не требуют стропильных балок или ферм, они сразу опираются на подстропильные (продольные) балки или фермы, уложенные по колоннам. Пролет продольных подстропильных конструкций, как правило, равен 12 м по средним рядам колонн и 6 м – по крайним рядам. Опирается на подстропильные конструкции может быть поверху или понизу. Плиты «на пролет» могут иметь различное очертание. За рубежом, где эти конструкции получили широкое распространение и где ими перекрывают пролеты 30 м и более, наиболее часто применяются плиты типов Т и 2Т. Кроме того, в ФРГ использовались гиперболические панели, в ГДР – складчатые панели трапецевидного сечения.

П-образные плиты размером 3 х 18 м предназначены для покрытий с малоуклонной кровлей (уклон 3,3 %) и разработаны двух типов: первый – с полкой переменной толщины, второй – с поперечными ребрами. Высота плиты в середине пролета составляет 900 мм, на опорах – 600 мм. Толщина полки 30–100 мм в плитах первого типа и 30 мм – плитах второго типа (высота ребер 150 мм).

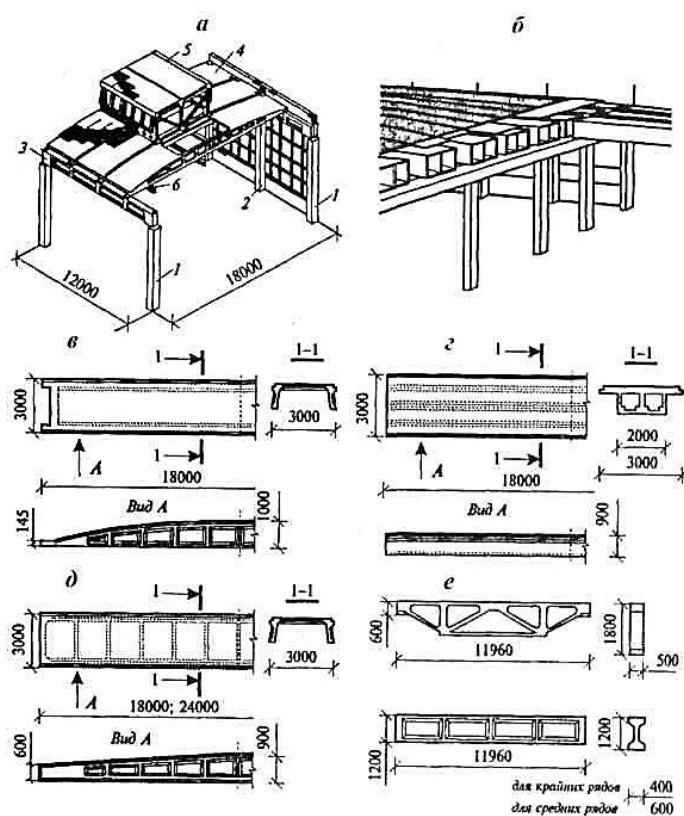


Рисунок 2.41– Конструкции покрытия с плитами «пролет»:

а – общий вид фрагмента здания с плитами типа КЖС; б – то же с плитами коробчатого сечения; в – плита типа КЖС; г – то же коробчатого типа; д – то же П-образного вида; е – подстропильные ферма и балка; 1 – основные колонны каркаса (крайние и средние); 2 – фахверковая колонна; 3 – подстропильная балка; 4 – плита КЖС размером 3 х 18 с отверстием 2,5 х 6 м для светоаэрационного фонаря; 5 – светоаэрационный фонарь шириной 6 м и покрытием из ребристых железобетонных плит; 6 – несущая балка подвешного крана

Плиты 2Т размером 3–18 м, как и плиты П-образные, применяют для малоуклонной кровли (уклон 3,3 %). Их изготавливают вполкой переменной толщины и ребрами по контуру плиты. Высота плиты составляет в центре 900 мм, на опорах 600 мм. Торцовые и продольные (по краю) ребра имеют высоту 100 мм. Ширина продольных ребер по низу равна 100 мм. Наружные грани продольных ребер – вертикальные, внутренние – с уклоном 1–25. Толщина полки может быть 30–40 мм. Плиты имеют напрягаемую арматуру – прядевую или стержневую (кл.А–IV).

Колонны каркаса здания с плитами «на пролет» должны иметь длину меньшую, чем типовые колонны, на высоту опорной части продольных балок (или ферм). При малой высоте опорной части усилия в колоннах близки соответствующим усилиям в типовых колоннах.

Наиболее рационально применять П-образные плиты в покрытиях зданий пролетом 12, 18 и 24 м без кранового оборудования или с крановым оборудованием, но без крупногабаритных воздухопроводов. Для пролета 12 м целесообразны плиты с постоянным сечением по всей длине, для пролетов 18 и 24 м – с плоскими скатами малого уклона. Расчеты ЦНИИ-Промзданий показывают, что площадь одноэтажных зданий, возводимых «на пролет», в перспективе может составлять около 35...40 % общей площади одноэтажных зданий.

### **Контрольные вопросы**

1. При каких пролетах целесообразно применение балки в зависимости от материала и формы?
2. При каких пролетах целесообразно применение ферм в зависимости от материала и формы?
3. По каким признакам подразделяются арки?
4. На какие виды подразделяются металлические рамы?
5. На какие виды подразделяются железобетонные рамы?
6. Как подразделяются балки по материалам?
7. Какие пролеты перекрывают рамы?
8. Какие пролеты перекрывают арки?
9. Как происходит опирание плит настилов?
10. Что такое плоскостная конструкция?
11. На какие подгруппы подразделяются деревянные балки?
12. Что такое ферма?
13. Что такое балка?
14. Что такое рама?
15. Что такое арка?
16. Назовите геометрические формы ферм?
17. Как подразделяются рамы с точки зрения распределения нагрузок?
18. При перекрытии, каких пролетов используются металлические рамы?
19. При перекрытии, каких пролетов используются железобетонные рамы?
20. Из каких материалов изготавливаются арки?
21. Назовите виды плит настилов?

### 3 Пространственные несущие конструкции

В пространственных покрытиях все элементы связаны между собой и работают как единое целое, совмещая все ограждающие и несущие функции. Это снижает расход материала и вес покрытия, делает его более экономичным и позволяет перекрывать большие площади без промежуточных опор.

Пространственные конструкции могут выполняться из дерева, металла, кирпича, но основное применение получили железобетонные и армоцементные конструкции.

*Основными типами пространственных покрытий являются своды, купола, цилиндрические оболочки, складчатые конструкции, оболочки двоякой кривизны и подвесные покрытия.*

#### 3.1 Перекрёстные несущие конструкции

Перекрестные конструкции представляют собой системы взаимно пересекающихся балок и ферм (рисунок 3.1).

Балки или фермы могут располагаться вертикально или наклонно. В местах пересечения они жёстко скреплены между собой, что обеспечивает статическую работу всей системы как единого целого в виде пространственной плиты, опертой на колонны по периметру. Эффект пространственной работы перекрестных систем тем заметнее, чем ближе очертания перекрываемого плана к квадрату, по условиям равномерного распределения усилий в двух направлениях.

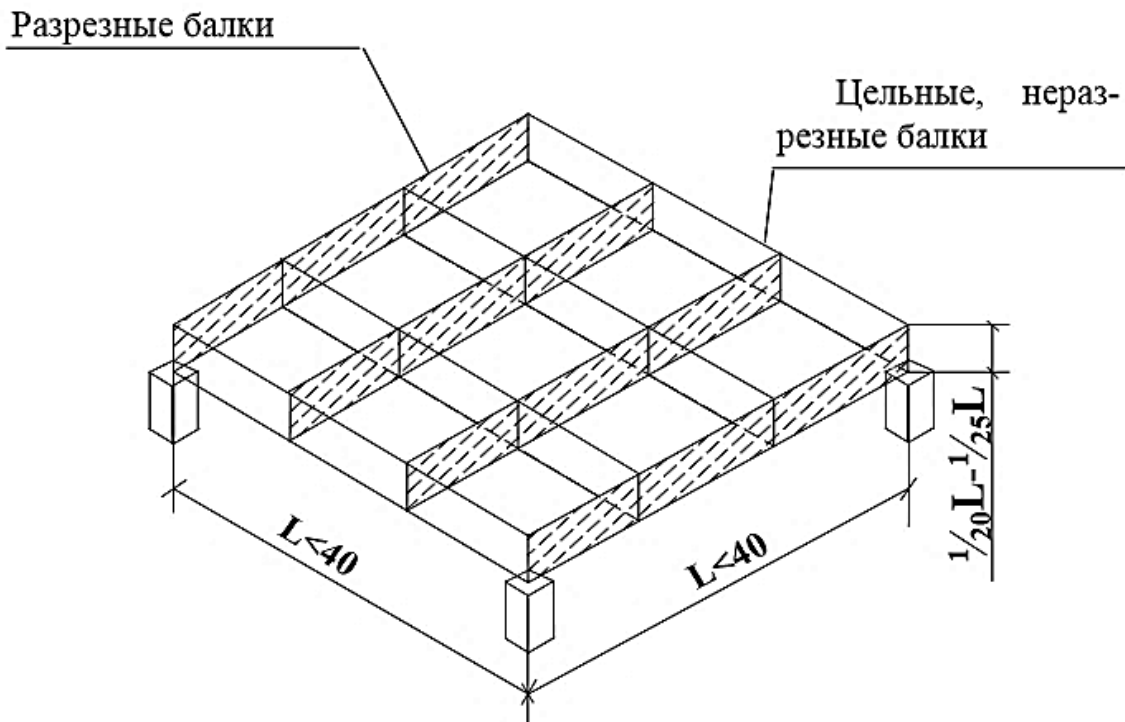


Рисунок 3.1 – Общая схема перекрестных конструкций покрытия

При перекрытии плана, отличающегося от квадратного, короткий пролет перекрывают цельными балками, а балки длинного пролета разрезают и стыкуют между собой в каждом пересечении. Методика подбора сечений перекрестных балок и ферм не имеет принципиальных отличий от методики расчета обычных балок и ферм. Эквивалентная нагрузка на перекрестные балки составляет примерно 50–60% от аналогичных величин

для простых балок. Следовательно, высота перекрестных балок может составлять около 0,7–0,8 высоты простых балок.

Материалом перекрестных конструкций может служить металл, железобетон и дерево.

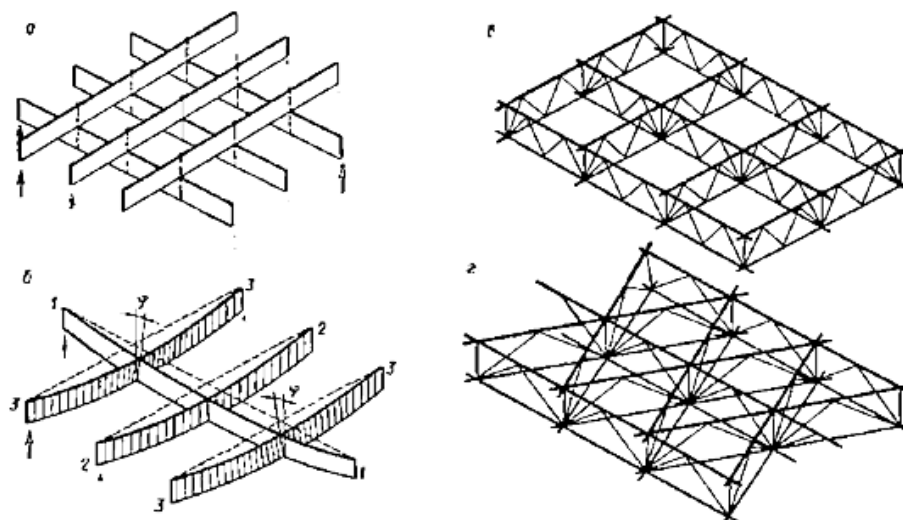


Рисунок 3.2 – а – этажное расположение балок; б – картина деформации из балок; в – ортогональная сетка перекрёстных форм; г – треугольная сетка перекрёстных форм

### 3.2 Перекрестные системы из металла

Перекрестные конструкции и покрытия из металла представляют собой системы взаимно пересекающихся ферм или регулярные структуры из пирамидальных элементов с квадратным, треугольным или шестигранным основанием. Фермы могут располагаться вертикально или наклонно, в двух или трех направлениях. В местах пересечения – жесткое скрепление между собой, обеспечивающее статическую работу системы как пространственной плиты. Применение в качестве сборного элемента не отдельного стержня, а пирамиды, изготовленной в заводских условиях, повышает индустриальность, а в ряде случаев и архитектурную выразительность таких покрытий. Шаг решетки назначают в диапазоне 1,5–6 м. Соединяют элементы перекрестных конструкций либо с помощью ванной сварки, либо с помощью разного рода конвекторов. Стержни испытывают, как правило, одноосные усилия сжатия – растяжения. Жесткость конструкции обеспечивается конструктивной решеткой, большая жесткость у систем со сложной решеткой. Сравнительно малый шаг решетки позволяет применять облегченный настил, который, в ряде случаев, включают в работу верхнего пояса перекрестной системы.

К преимуществам этих систем следует отнести возможность перекрывать ими любой формы план сооружения, свободно располагать опоры, создавать консольные свесы и отверстия для зенитных фонарей, сравнительно малую строительную высоту, покрытия ( $1/20$ – $1/35L$ ), плоскую кровлю.

Налаженное производство однотипных элементов позволяет создавать из них покрытия со сложным профилем поперечного сечения: в виде шатров, сводов, куполов, односкатных и двускатных покрытий, шедов. Сложная форма покрытий создает, как правило, такую несущую систему, которая является основой объемно – планировочного решения и архитектурной выразительности здания в целом.

К недостаткам перекрестных систем относят достаточно сложное изготовление их и монтаж, связанные с требованием высокой точности, и противоречия, возникающие меж-

ду архитектором и инженерами – сантехниками: последние за подвесные потолки, а архитектор – против.

В некоторых системах отмечается, повышенный расход стали. Рациональная область применения перекрестных конструкций весьма обширна. Они используются для залых помещений торгово – бытового и спортивно – зрелищного назначения.

Особенности металлических перекрёстных балок и ферм. Перекрёстные балки двутаврового сечения имеют  $h = 1/24L - 1/30L$ , где  $h$  – высота балки;  $L$  – перекрываемый пролет. Узлы пересечения конструируют так, чтобы разрыв полок компенсировали наклад- ки, а разрыв стенки – сварные монтажные швы (такая сварка называется «втавр») (Рис. 3.3).

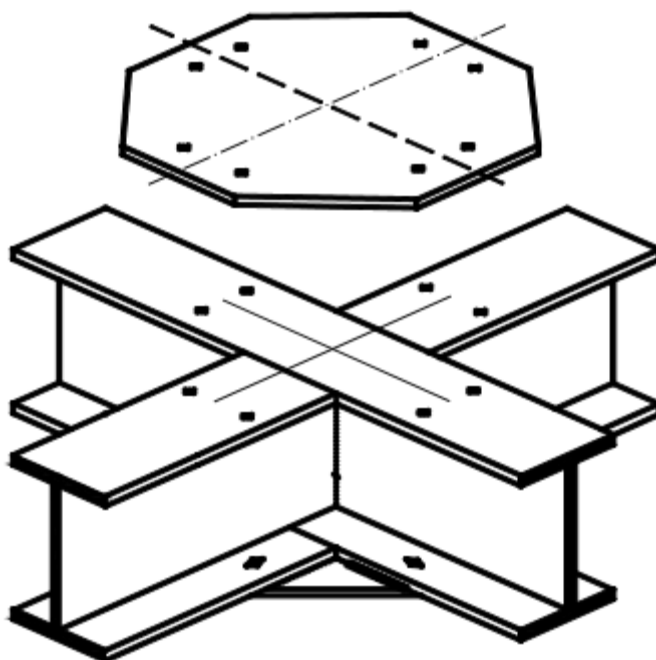


Рисунок 3.3 – Сопряжение неразрезных металлических балок с разрезными

*Металлические перекрёстные фермы* проектируют с параллельными поясами, высотой  $1/14...1/18L$ . Перерезанные полки уголков компенсируют горизонтальными, а стенки – вертикальными фасонками (рисунок 3.4). По сравнению с плоскостными конструкциями покрытия перекрестные конструкции имеют ряд преимуществ:

- примерно вдвое меньшую строительную высоту, поэтому они являются более экономичными по расходу металла;
- малую строительную высоту покрытия или перекрытия, что позволяет снизить общий объём здания;
- значительную жесткость покрытия, что дает возможность крепить к нему подвесное оборудование;
- повышенную степень надёжности покрытия от внезапного разрушения благодаря многосвязности системы;
- разнообразную область применения конструкции.

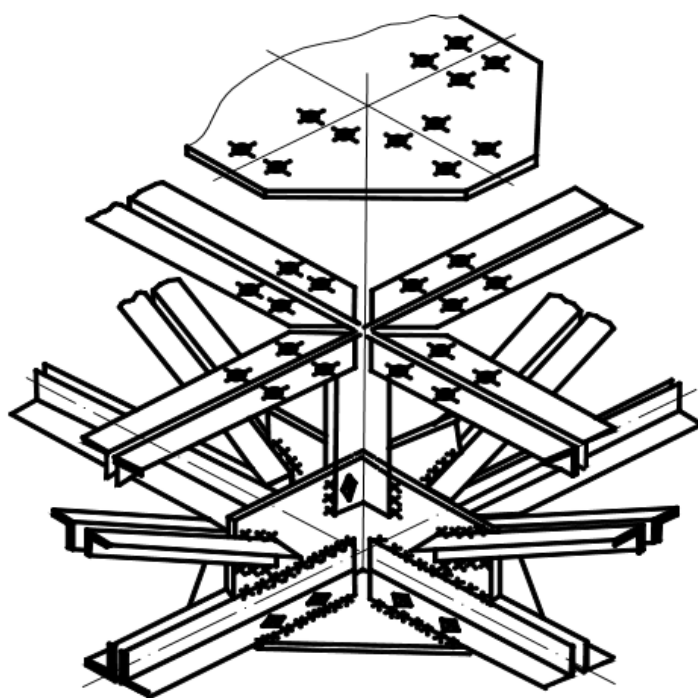


Рисунок 3.4— Сопряжение перекрестных металлических ферм

*Особенности деревянных перекрёстных балок и ферм.* Перекрёстные балки в виде пакетов склеенных досок перекрывают пролёты от 12 до 24 м с шагом 3; 6 м. Высоту балок назначают в пределах  $1/16$ – $1/20L$  (рисунок 3.5).

Одно из решений узла пересечения основано на перевязке слоёв досок, к недостаткам этого узла относится необходимость склеивания непосредственно на стройплощадке. Другие способы предусматривают использование металлических узловых деталей.

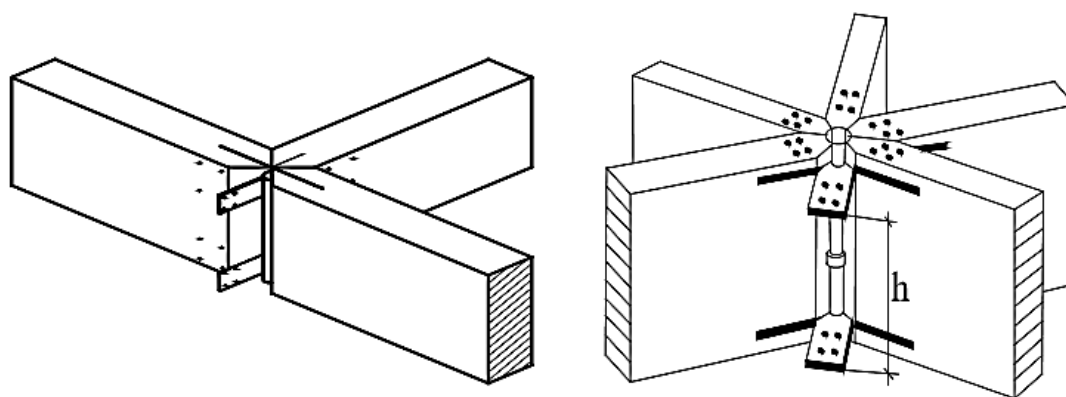


Рисунок 3.5— Сопряжение перекрестных деревянных балок и ферм

*Особенности железобетонных перекрёстных балок и ферм.* Перекрёстными балками перекрывают пролёты до 30 м с шагом от 3 до 6 м, высота балок колеблется в пределах  $1/16$ – $1/24L$ . Их обычно проектируют вместе с плитами. Покрытие может быть монолитным, сборным и сборномонолитным (монолитные балки, сборные плиты). Перекрёстные балки высотой до 1,5 м делают сплошностенчатыми с постоянной толщиной 200–300 мм. Дальнейшее развитие перекрёстных балок высотой более 1,5 м связано с превращением их в двутавровые со стенкой 100–150 мм и развитыми полками, в которых размеще-

на основная арматура. Перекрёстные фермы собирают из плоских ферм или решётчатых пирамид, в которых размещена основная арматура. Высота ферм составляет  $1/15-1/20L$ , размеры перекрываемого плана доходят до  $50 \times 50$  м. Соединения элементов сборных перекрёстных балок и ферм выполняют с помощью сварки металлических закладных деталей с последующим замоноличиванием стыков. Арматура, проходящая в каналах нижних полок балок или поясов ферм, напрягается одновременно в двух направлениях с заполнением каналов раствором после анкеровки стержней. Сборные покрытия выполняются из железобетонных или армоцементных тонкостенных коробчатых элементов. Стенки и днища квадратных в плане коробов со сторонами от 1 до 3 м армируют сетками. Сборные кессонные конструкции способны перекрывать пролеты до 60 м при высоте коробов от  $1/20-1/30L$ , где  $L$  – перекрываемый пролет.

### 3.3 Структурно стержневые конструкции

**Структурами** обычно называют системы стержней, сходящихся в узлах и расположенных в пространстве в строгом геометрическом порядке. Структурно организованное пространство можно представить в виде множества неделимых ячеек (своего рода «атомом») элементарных многогранников – тетраэдра, куба, некоторых пирамид и др. Наглядное представление о простейшей структуре ласт следующее построение. Плоская ортогональная сетка, состоящая из стержней длиной  $a$ , соединенных между собой в узлах, служит основанием для построения на ней множества четырехгранных пирамид, ребра которых имеют ту же длину  $a$ . По вершинам пирамид укладывается вторая ортогональная сетка, на ней строится следующий ряд пирамид и т. д. При проектировании из этого структурно организованного пространства (рисунок 3.6. а) выделяют требуемую архитектурно–конструктивную форму, отбросив лишние элементы. Освобожденную от ненужных стержней пространственную композицию можно назвать *структурной конструкцией*. Узлы этой простой композиции обладают способностью присоединения 12 стержней одинаковой длины, идущих в 12 направлениях. Из этого же структурного пространства, если рассечь его двумя параллельными плоскостями, можно получить решетчатые плиты, состоящие из двух поясных сеток и пространственной решетки между ними. При горизонтальных срезах (параллельных основаниям пирамид) образуются квадратные ячейки (рисунок 3.6,б), при наклонных (параллельно граням пирамид) – треугольные (рисунок 3.6 в). Число стержней в каждом узле структурной плиты равно восьми (квадратная сетка) или девяти (треугольная сетка).



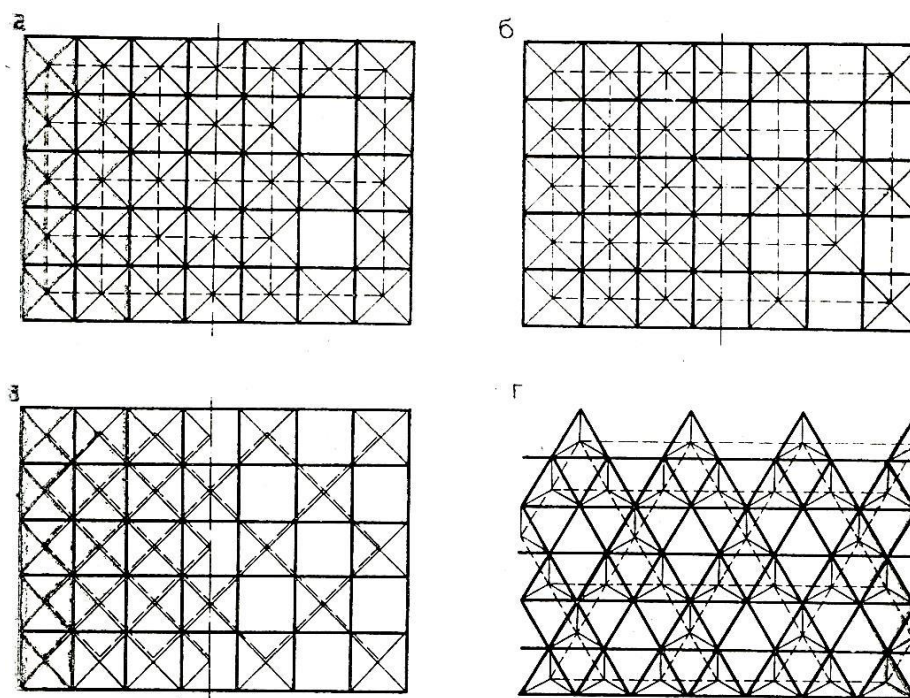


Рисунок 3.6 – а– структурное пространство; б– структурная конструкция; в – структурная плита с квадратной сеткой;  
г – структурная плита с треугольной сеткой

Такие решетчатые плиты (структурные покрытия) получили широкое распространение в качестве плоских покрытия с пролетами до 100 м.

Существуют следующие рисунки септик структурных покрытий: геометрически изменяемые (квадрат, шестиугольник) и геометрически неизменяемые (треугольник, квадрат с диагональю). Сетки с одинаковым по всей площади покрытия строением называются регулярными, с различным строением в разных зонах покрытия – нерегулярными. Ячейки растянутой (обычно нижней) сетки рационально делать более крупными, поскольку они не испытывают сжатия (рисунок 3.7 б, в). Сетки часто проектируют разреженными, удаляя некоторые стержни, т. е. превращая их в нерегулярные (рисунок 3.7г).

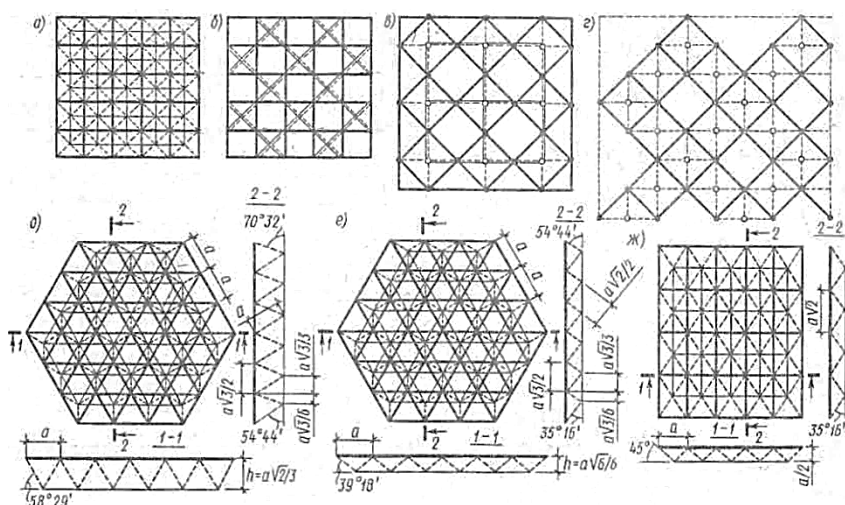


Рисунок 3.7 – Геометрические схемы структурных покрытий  
а–г – ортогональная равномодульная; д – треугольная;  
е – треугольная с модулями  $a$  и  $a\sqrt{2}$

Достоинства структурных покрытий сводятся к следующим:

- пространственная работа при многократной статической неопределимости (много-связности системы), гарантирующая перераспределение усилий в стержнях при внезапном разрушении некоторых из них;
- однотипность узлов и стержней; примерно двукратное по сравнению с плоскими фермами снижение строительной высоты конструкции;
- облегчение кровельного покрытия и подвесных потолков благодаря частому расположению опорных точек в узлах;
- легкая приспособляемость к планам сложным и с нерегулярной расстановкой опор; выразительность в интерьере и при выносе конструкций на фасад.

*Недостатками структурных покрытий, порой диалектически сопряженными с их достоинствами, являются:*

- сложность узлов и высокая требуемая точность их изготовления;
- неизбежные «люфты» в многочисленных соединениях (исключая сварные).

Конструкции узловых элементов чрезвычайно разнообразны. Для трубчатых элементов наиболее логична конструкция узла, где главным соединительным звеном является болт, соосный со стержнями и работающий на продольные усилия. Существуют две композиционные схемы этого узла: болт, выходя из трубчатого стержня, ввинчивается в узловой элемент; болт, выходя из узлового элемента, ввинчивается в трубчатый стержень. По первой схеме выполнен изобретенный в довоенные годы в Германии узел «Меро», отличающийся универсальностью и простотой монтажа и считающийся наиболее совершенным из всех существующих, а также созданный на его основе узел «МАРХИ» (рисунок 3.8).

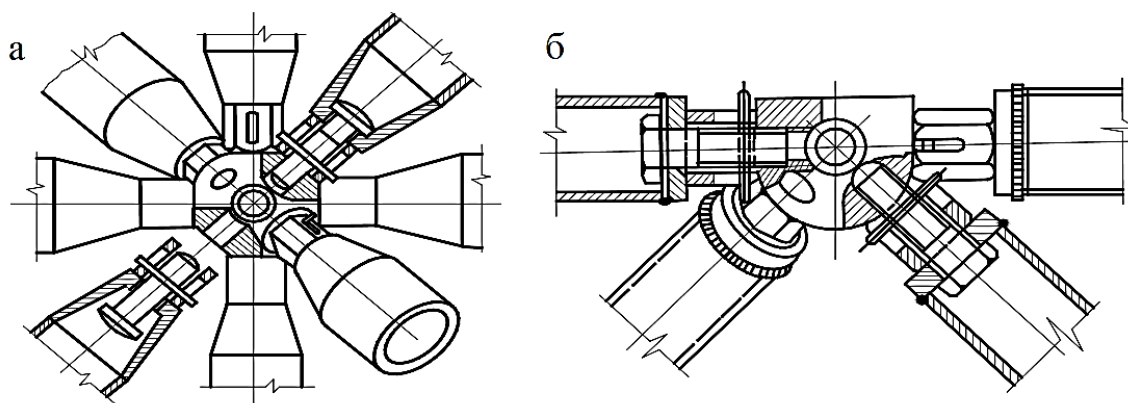


Рисунок 3.8 – а – узел Меро; б – узел МАРХИ

Структурное покрытие является, прежде всего, стержневой (решетчатой) плитой и поэтому основные принципы проектирования сплошных плит справедливы и для них.

1. Наиболее выгодной формой прямоугольных плит является квадратная.
2. Чем чаще расположены опоры по контуру, тем лучше, хотя польза от слишком частого их расположения становится незаметной. В наихудших условиях работает плита, опертая по углам.
3. Эффективен конструктивный прием постановки опор с некоторым отступом от контура покрытия. Образующиеся консольные свесы способствуют снижению величин изгибающих моментов в пролете, причем создается самостоятельный планировочный модуль, легко поддающийся блокировке с другими подобными модулями. Сплошностенчатые структурные конструкции не типичны для исполнения в металле. Тем не менее из-

вестны примеры создания покрытий в виде пирамид из алюминиевых листов толщиной 2–4 мм, вершины которых, обращенные вниз, соединены стержневой сеткой.

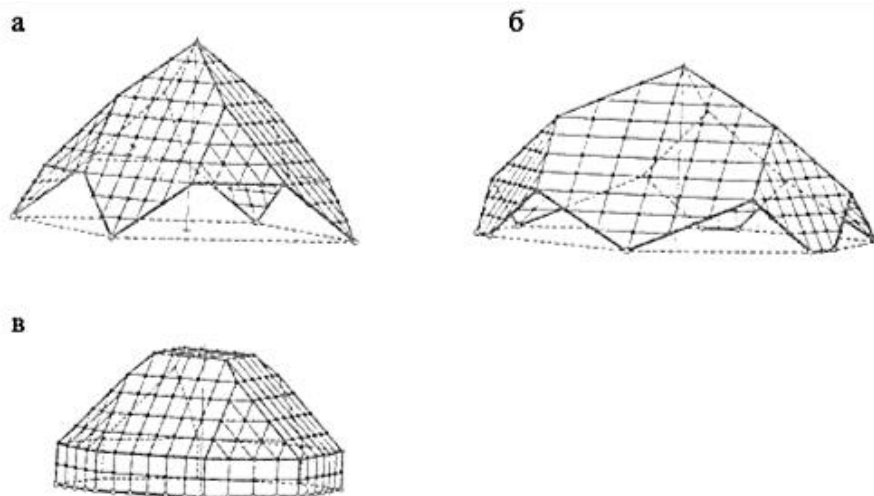


Рисунок 3.9 – Шатровые и купольные формы на основе:  
а – ромбододекаэдра; б – ромбододекаэдра и куба; в – ромбододекаэдра, куба и ок-  
таэдра. Внутренняя сетка и решётка не показаны

### 3.4 Армоцементные структуры

Конструктивные формы структурных покрытий из древесных материалов, пласт-  
масс, железобетона и армоцемента основаны на использовании форм сплошностенчатых  
пирамид, чаще всего четырехгранных. Возможны два способа расположения пирамид –  
вершинами книзу и вершинами кверху. Каждый из них формирует свою специфическую  
пластику потолка и решающим образом влияет на интерьер (рисунок 3.10).

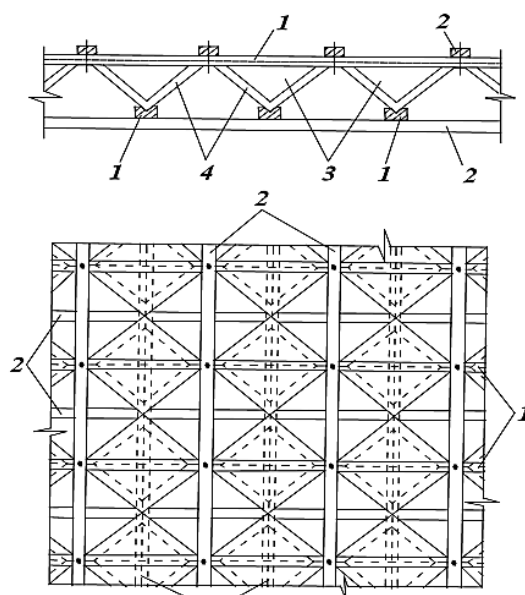


Рисунок 3.10– Покрытие, собираемое из фанерных тетраэдров:  
1 – элементы поясов с пазами; 2 – то же, без пазов;  
3 – листы фанеры; 4 – ребра из брусков

Конструкция покрытия в виде регулярной структурной плиты из армоцементных элементов разработана в Ленинградском зональном научноисследовательском институте (НИИЭП). Конструкция покрытия представляет собой плиту регулярной структуры, собранную из двух основных типов элементов, – пирамидального элемента и ребристой плиты (рисунок 3.11). Пирамидальный элемент размером в плане  $3 \times 3$  м и высотой 0,9 м отформован в виде четырёх равносторонних пирамид. Пирамиды образуются армоцементными гранями, утолщенными армированными ребрами и уширенной вершиной, диагонально расположенной относительно основания. Углы оснований и вершины пирамид снабжены закладными пластинами, приваренными к рабочей арматуре. Закладные детали служат для соединения пирамидальных элементов между собой и с ребристыми плитами. Для восприятия опорных реакций грани и ребра пирамид, опирающихся на колонну, усилены.

*Ребристые* рядовые плиты размером  $1,5 \times 1,5$  м, высотой рёбер 0,1 м и толщиной полки 15 мм опираются срезанными углами на вершины пирамид. По периметру покрытия устанавливаются окаймление и угловые ребристые плиты Г-образного сечения. Собранный блок высотой 1 м может перекрыть сетку колонн  $18 \times 18$  м;  $12 \times 12$  м или пролёт 24 м.

Сборка пространственных каркасов ведётся в специальных кондукторах. На земле собирается блок размером не более  $3 \times 12$  м, затем он устанавливается в проектное положение на временные опоры.

Структурная плита, собранная из армоцементных элементов, может применяться для покрытий зальных помещений общественных зданий.

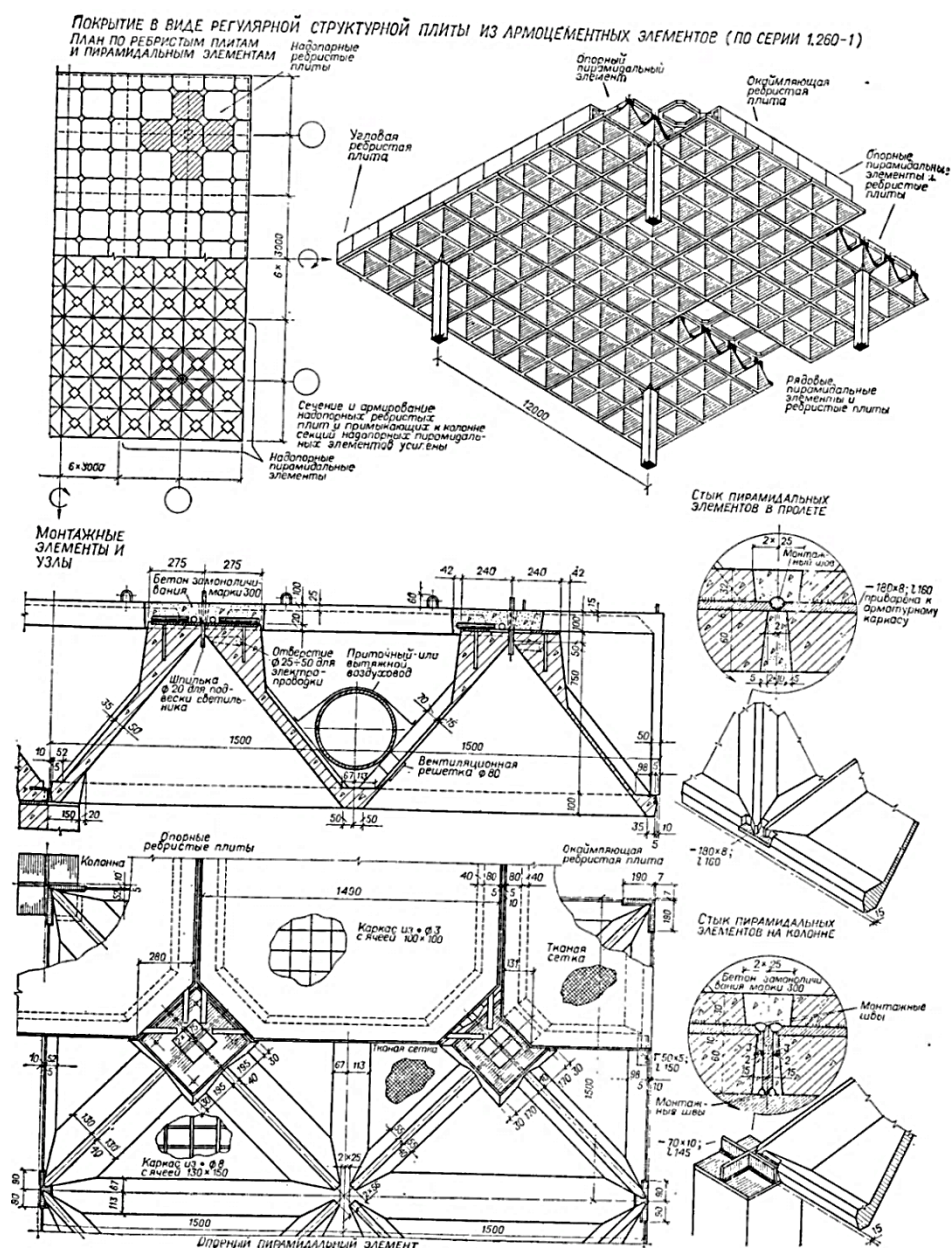


Рисунок 3.11 – Покрытие в виде регулярной структурной плиты из армоцементных элементов

Применение структурных конструкций в современном строительстве позволяет:

- перекрывать помещения с любой конфигурацией плана;
- существенно облегчать массу покрытия, повышая за счет этого эффективность работы конструкции на полезные напряжения;
- за счет многократной повторяемости унифицировать элементы и узловые детали, обеспечивать их поточное изготовление;
- легко и удобно транспортировать сборные элементы;
- свести работу на строительной площадке к простой быстрой сборке элементов.

Недостатками является: повышенная трудоёмкость изготовления элементов и трудность выполнения узлов по сравнению с традиционными.



### 3.5 Своды

Своды представляют собой несущую железобетонную пространственную конструкцию покрытия в виде изогнутой вдоль оси гладкой или волнистой плиты, обладающей распором и работающей на сжатие с изгибом.

Такие покрытия совмещают в себе несущие, ограждающие, а иногда и гидроизолирующие функции. Сводчатые покрытия проектируются, как правило, из сборных железобетонных элементов, и редко – из металла и дерева для прямоугольных в плане однопролетных или многопролетных зданий. По продольным краям (вдоль образующей) своды могут опираться на колонны, стены или непосредственно на фундаменты.

Распор сводов воспринимается затяжками (рисунок 3.12) из стали или железобетона, поперечными стенами, рамами, контрфорсами или фундаментами

(рисунок 3.13). При проектировании сводов следует учитывать податливость элементов или конструкций, воспринимающих распор. Уменьшение податливости поперечных стен, контрфорсов и фундаментов может быть обеспечено установкой затяжек, расположенных ниже уровня пола.

Очертание свода рекомендуется принимать по дуге окружности, параболе, цепной линии или другим близким к ним кривым. Своды призматического (полигонального) очертания состоят из прямолинейных участков, вписанных в дугу указанных выше кривых.

Очертание сводов рекомендуется принимать по дуге окружности, параболе, цепной линии или другими близкими к ним кривыми. Своды призматического (полигонального) очертания состоят из прямолинейных участков, вписанных в дугу указанных выше кривых.

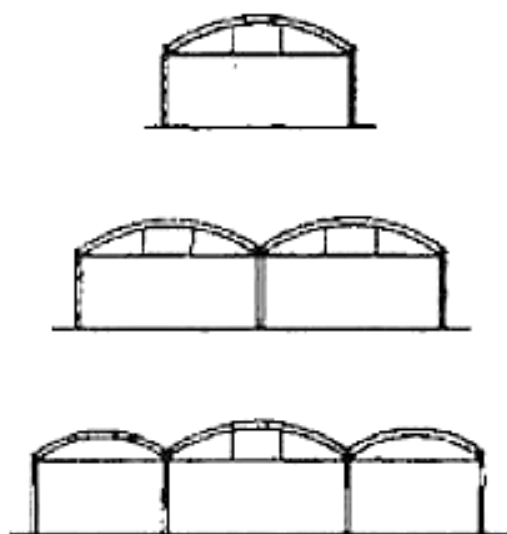


Рисунок 3.12 – Своды с затяжками

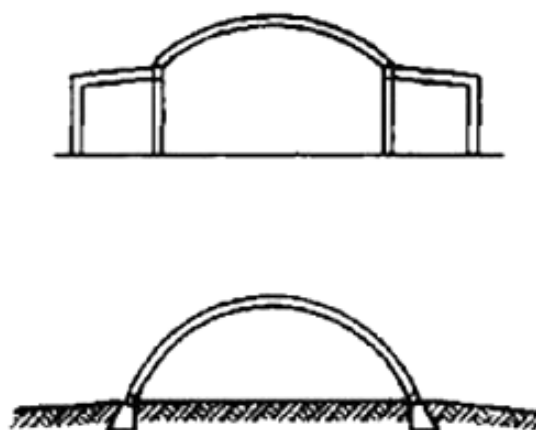


Рисунок 3.13– Своды без затяжек

Очертание сводов, секции которых состоят из трех и большего числа элементов рекомендуется принимать по дуге окружности.

Стрелу подъема сводов (в ключе) в зависимости от назначения и размеров перекрываемого помещения, способов восприятия распора, архитектурных требований и других условий рекомендуется принимать в пределах от  $1/2$  до  $1/10$  величины перекрываемого пролета.

По форме поперечного сечения (вдоль образующей) сводчатые покрытия делятся на цилиндрические (с прямолинейной образующей верхней поверхности), складчатые и волнистые. Придание поперечному сечению сводов складчатого (треугольного, трапециевидного) или волнистого очертания (рисунок 5.14) повышает несущую способность сводчатых покрытий и позволяет существенно увеличить их пролет.

По условиям изготовления элементов сборных сводчатых покрытий, удобству укладки утеплителя и устройства кровли цилиндрические и складчатые своды предпочтительнее волнистых.

Деформативность складчатых и волнистых сводов в продольном направлении поз-

воляет проектировать их без температурно–усадочных швов. При этом продольный каркас здания, служащий опорой для сводов, должен быть рассчитан на температурные воздействия. В случае необходимости устройства в каркасе деформационных швов в сводах между складками или волнами также должны устраиваться швы, перекрываемые компенсаторами.

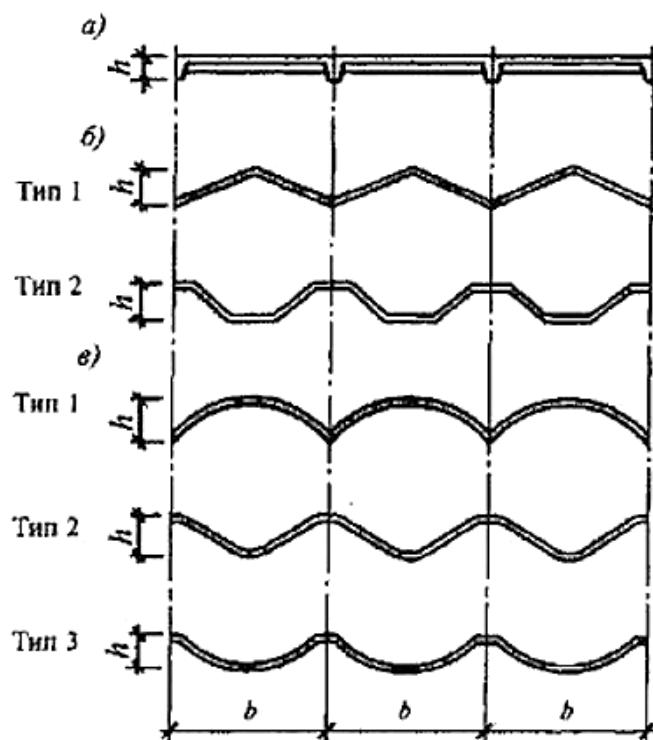


Рисунок 3.14— Поперечные сечения сводчатых покрытий  
 а— цилиндрические своды; б— складчатые своды (типы 1 и 2);  
 в — волнистые своды (типы 1, 2, 3)

Складки или волны сводов, примыкающие к деформационным швам, должны конструироваться с затяжками–распорками, диафрагмами и т.п., исключающими возможность деформации контура их поперечного сечения.

В сводчатых покрытиях могут быть предусмотрены проемы для зенитных световозрационных фонарей, вытяжных шахт и т.п. Допускается подвешивать к сводам кранбалки или другое грузоподъемное оборудование, а также трубопроводы, площадки и т.п. При этом сосредоточенные нагрузки рекомендуется прикладывать в местах расположения подкрепляющих ребер и переломов поверхности свода.

Своды рекомендуется проектировать из тяжелого или легкого бетона. Швы между сборными элементами сводчатых покрытий проектируются с замоноличиванием мелкозернистым бетоном класса по прочности на сжатие не менее В15.

Своды, как и арки (они и рассчитываются как арки) — распорные конструкции. Распор воспринимается затяжками, фундаментами, рамными пристройками, контрфорсами. Выбор того или иного способа восприятия распора определяется в значительной степени функциональными и архитектурными требованиями. Требуемая изгибная жесткость сводчатого покрытия значительных пролетов может быть обеспечена путем подкрепления его ребрами или придания ему волнистого или складчатого профиля в поперечном направлении



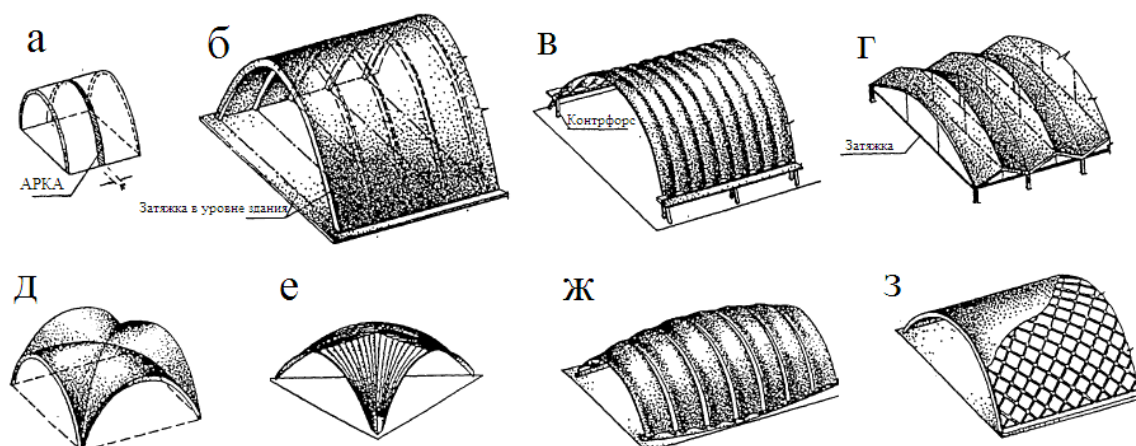


Рисунок 3.15 – а) арка; б) ребристый свод; в) волнистый свод; г) складчатый свод; д) крестовый свод; е) сомкнутый свод на треугольном плане; ж) тороидальные своды; з) кружально–сетчатые своды

В ребристом своде (б) шаг ребер зависит от пролета: с увеличением пролета шаг уменьшается (к примеру, от 12 м при  $L = 60$  м до 7,5 м при  $L = 100$  м, а сечения увеличиваются). Основными несущими элементами конструкции являются ребра – арки. Более эффективными конструкциями, как по расходу материала, так и с позиции изгибной жесткости и устойчивости, признают волнистые (в) и складчатые (г) своды. Заслуживают внимания кружально–сетчатые своды (з) с ромбической решеткой из сборных железобетонных элементов (по аналогии с ранее применявшимися деревянными кружально–сетчатыми сводами). Ажурность решетки таких сводов обогащает интерьер зала. Наряду с рассмотренными цилиндрическими сводами, находят применение крестовые (д), сомкнутые (на прямоугольных и треугольных формах плана (е)) и тороидальные своды (ж) (образование тора показано на листе с бочарными сводами–оболочками). Применение тороидального свода связано с поиском оптимального решения плана здания и, как показала практика, такая форма покрытия обеспечивает существенное снижение его веса. К недостаткам сводчатых конструкций относят: устройство затяжек и контрфорсов, большое число опор по продольным сторонам, увеличение строительного объема здания, трудности, возникающие при решении входов и освещения с боковых фасадов.

**Железобетонные Своды.** Монолитные своды проектируются преимущественно цилиндрическими, очертание которых, по возможности, приближается к кривой давления от постоянной нагрузки. В сводах пролетом более 12 м следует предусматривать подкрепляющие ребра, расположенные в направлении перекрываемого сводом пролета.

Монолитные своды проектируются преимущественно цилиндрическими, а складчатыми и волнистыми – крайне редко. Толщина плиты монолитного свода должна быть не менее 40 мм, а сборного – не менее 30 мм.

Сборные цилиндрические своды выполняют из цилиндрических ребристых, а полигональные – из плоских ребристых плит с размерами сторон 1,5х6 м или 3х6 м. Разнообразием цилиндрических сводов являются трехшарнирные сегментные своды, собираемые из панелей–оболочек КЖС, В зависимости от количества сборных элементов своды бывают двух или трехшарнирными. Покрытия до 24 м монтируют из двух половин со стыком в ключе.

Волнистые и складчатые своды из железобетона или армоцемента отличаются легкостью и экономичностью. Диапазон их пролетов – от 12 до 120 м. Стрелу подъема/(в

ключе) в зависимости от назначения и размеров здания, способа восприятия распора, архитектурных требований и других условий принимают в пределах от  $1/2$  до  $1/10$  пролета  $L$ . Оптимальная ширина  $b$  складок (волн) составляет  $(1/8-1/10)$ . При пролетах до 24 м ширина  $b$  обычно равна 3 м и менее, а для больших пролетов 3–12 м. Высоту сечения  $h$  из условия устойчивости назначают равной  $(1/30-1/60)$ . Приведенная толщина плиты (стенки) свода составляет, примерно,  $(1/400-L/600)l$ .

Сборные своды проектируют из отдельных плоских плит, складчатых или волнистых элементов с прямолинейной или криволинейной осью. Поскольку в сводах возникают усилия внецентренного сжатия, их обычно собирают из ненапряженных панелей, размеры которых (из условий транспортирования) составляют по ширине не более 3 м, а по длине не более 12 м. По торцам их усиливают ребрами жесткости, затяжками, диафрагмами, обеспечивающими устойчивость поперечного сечения.

Складчатые своды с треугольным поперечным сечением (рисунок 3.14) обычно применяют для пролетов до 80 м. Ширину  $b$  складки принимают, как правило, в соответствии с шагом колонн, т. е. 6–12 м, но иногда 3 м и менее по архитектурным соображениям. Высоту поперечного сечения  $h$  складки назначают равной  $(1/4-1/10)b$ . Сборную конструкцию свода проектируют из железобетонных ребристых панелей, где толщина полки панели  $t > 30$  мм, высота ребер  $h_p = 120-160$  мм ( $\approx 1/20$  ширины панели) и шаг поперечных ребер 300–600 мм.

Складчатые своды с трапециевидным поперечным сечением (рисунок 3.14) рекомендуются применять для пролетов до 36 м. Ширину  $b$  назначают не более 3 м, исходя из условия транспортирования элемента, а высоту  $h = (1/4-1/6)b$ , в зависимости от величины перекрываемого пролета. Длину сборных элементов свода принимают в пределах от 2 до 6 м. Толщина  $t_1$  горизонтальных полок, в которых устанавливается рабочая арматура, принимается не менее 60 мм, а наклонных стенок  $t$  – не менее 30 мм. Ширина  $b$  горизонтальных полок составляет примерно  $(1/8-1/10)b$ .

В монолитной конструкции складчатого свода для уменьшения толщины стенок устраивают в поперечном направлении ребра с образованием квадратных или прямоугольных полей. В этом случае наклонные стенки рассчитывают на изгиб как плиты, опертые по контуру, или многопролетные неразрезные.

Ребристые панели сборного складчатого свода рассчитывают на изгиб от местной снеговой нагрузки в направлении короткого пролета. Панели, имеющие примерно одинаковые размеры по длине и ширине, рассчитывают на местную нагрузку как опертые по контуру. Сечение арматуры в продольных ребрах панелей определяют из условия прочности при их транспортировании и монтаже.

В волнистых сводах с криволинейным поперечным сечением отдельная волна может иметь очертание окружности, синусоиды, криволинейного лотка и др. (рисунок 3.14). Ширина волны  $b$  может составлять 1,5–3 м, достигая иногда 6...12 м. Своды проектируют либо из тонкостенных панелей двоякой кривизны, либо из ребристых цилиндрических панелей, а также бортовых элементов. Длину панели принимают кратной длине свода.

В сводах могут предусматриваться проемы различной формы для зенитных светозащитных фонарей, вытяжных шахт и др. Допускается подвешивание грузоподъемного оборудования, трубопроводов, площадок и др., размещая их в местах расположения ребер и переломов поверхности сводов. Кровля устраивается непосредственно по криволинейной поверхности покрытия после замоноличивания швов. Возможно изготовление на заводах панелей с теплоизоляционным слоем.

Армоцементные своды возводят, в основном, сборными из волнистых (складчатых) панелей, изготавливаемых машинным способом виброформования. Панели выполняют из мелкозернистого бетона, армированного ткаными сетками из тонкой стальной проволоки

диаметрами 1–1,5 мм. Толщина такой оболочки может быть уменьшена до 10–15 мм вместо 30–40 мм в железобетонном варианте.

**Своды из пластмасс, древесины и металла.** Для покрытий с применением пластмасс чаще всего используют волнистые своды. Перекрываемые ими пролеты достигают до 40 м. Основным конструктивным материалом служит полиэфирный стеклопластик, одним из достоинств которого является светопрозрачность достаточная для того, чтобы обходиться без световых проемов.

Однослойные ребристые своды лоткового профиля из стеклопластика предназначены для неотапливаемых зданий без фонарей пролетом до 20 м. Элементы свода толщиной от 2 до 5 мм изготавливают в виде одно- и многоволновых профилей заданной кривизны шириной 0,75–1,5 м и высотой волны до 0,6 м. Из них обычно собирают трехшарнирные своды.

Имеются разработки волнистых сводов пролетами до 30 м из фанерных элементов двоякой кривизны.

Особый вид представляют двоягоскладчатые своды, поверхность которых имеет складки как по образующей, так и по направляющей линиям (рисунок 3.16а,б). Пространственную геометрическую основу таких сводов образуют правильные многоугольники, расположенные в плоскостях, нормальных к общей продольной оси, и многоугольники, повернутые на половину одной стороны. Каждая пара смежных треугольников образует неплоский ромб с диагоналями, расположенными в разных плоскостях. Эти ромбы представляют собой удобные контуры для заполнения их панелями в виде гипаров из стеклопластика, алюминия, фанеры или армоцемента. Считается, что устойчивость такого свода вписанного в полную окружность свода.

Двоягоскладчатые своды, состоящие из треугольных панелей, рассчитывают, рассматривая каждую складку как расчетную полосу арки с постоянной площадью рабочего сечения вдоль образующей. Двоягоскладчатые своды, собираемые из ромбических алюминиевых листовых панелей, согнутых по большой диагонали, соединяют между собой болтами или заклепками по краям панелей. Приближенный расчет таких сводов основан на приведении пилошностенчатой системы к стержневой.

Разновидностью рассматриваемых выше конструкций являются структурные своды (рисунок 3.16 в). Их собирают из тонкостенных пирамид, соединяя вершины стержнями кольцевого и продольного или косоугольного (по винтовой линии) направлений. Материалом пирамид может служить листовой металл, фанера, пластмассы, реже армоцемент и железобетон. В результате возникает двухъярусная система, где одним поясом служит стержневая сетка, а другим – ребра пирамид, которыми они состыкованы. Ребра пирамид выполняют роль раскосов структуры, а их грани – ограждающей конструкции.

Существует другой вариант структурного свода (например, из стеклопластика), где пирамиды заменены ромбовидными в плане элементами с седловидной поверхностью (гипарами), которые обладают большей жесткостью формы, нежели плоские грани пирамид.

Сводчатые покрытия из древесины, пластмасс и металла не нашли в строительстве широкого применения, хотя обладают потенциальными возможностями и успешно выполняются в железобетоне и армоцементе.

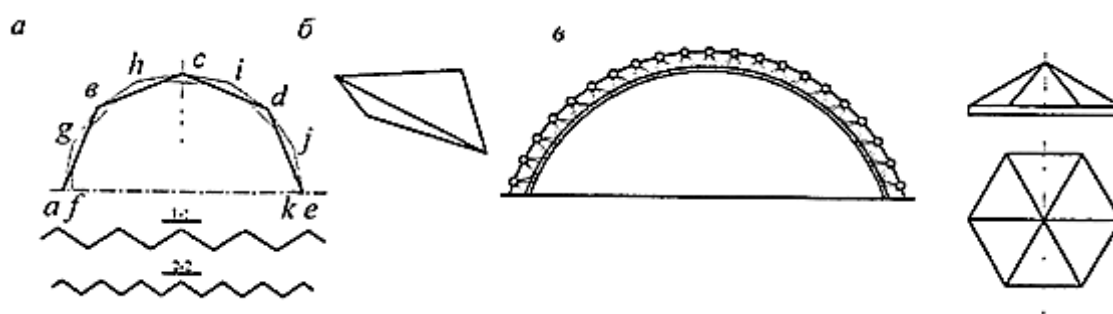


Рисунок 3.16 – Разновидности двоякоскладчатых сводов:  
а – свод с профилем на базе вписанного в окружность многоугольника; б – ромбическая панель; в – структурный свод из шестигранных пирамид

### 3.6 Оболочки

Оболочкой называется пространственная конструкция, форма которой образована перемещением образующей по направляющей. В зависимости от формы образующей и направляющей оболочки подразделяют на оболочки одинарной положительной кривизны (цилиндрические оболочки), конусоидальные оболочки, оболочки двойной положительной кривизны, оболочки отрицательной гауссовой кривизны.

Конструкция оболочки состоит из трех основных элементов – тонкой оболочки, бортовых элементов и торцевых диафрагм. Материалом для устройства оболочек может служить железобетон, дерево, армоцемент, металл. Железобетонные оболочки выполняются в виде монолитных конструкций. При классификации оболочек, определяющее значение имеет признак статической работы конструкции. По этому признаку оболочки подразделены на два класса – *распорные* и *безраспорные*. К безраспорным оболочкам относятся цилиндрические и конусоидальные (складки) оболочки. Данные конструкции могут воспринимать распор только за счёт специально установленных диафрагм. К распорным относятся купола, своды и оболочки отрицательной кривизны. Оболочки нулевой гауссовой кривизны, применяемые для покрытия прямоугольных помещений, могут быть гладкими, ребристыми, складчатыми, цилиндрического и параболического очертания.

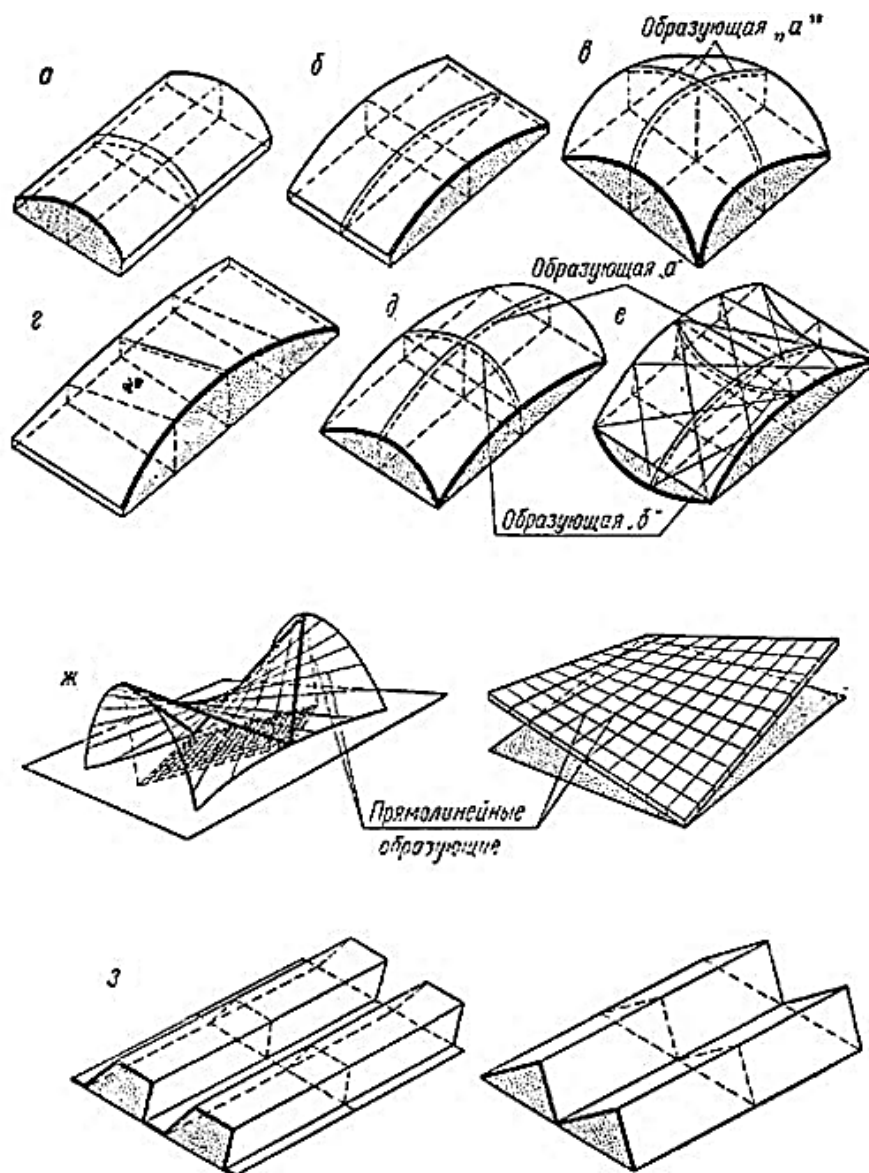


Рисунок 3.17– Виды оболочек

а– цилиндрическая длинная; б– то же короткая; в– купольная (парусная); г– коноидальная. д – параболоидная; е – гиперболоидная; ж– гиперболоидно– параболическая; з – складчатые

### 3.7 Плиты оболочки

Плита–оболочка опирается на нижележащие конструкции четырьмя стальными пятами, расположенными в ее углах и обеспечивающими заанкеривание затяжек. Опираие плит в пролете не допускается. В оболочке могут быть предусмотрены отверстия.

Плиты устанавливаются поперёк пролёта на продольные балки с шагом колонн 6 и 12 м. Для шага колонн 6 м – балки прямоугольного сечения, высотой 600 мм и шириной 250 мм, для шага колонн двутаврового сечения – высотой 1200 мм и шириной верхнего тавра 400 мм.

Плиты-оболочки опираются на продольные балки через опорные столики с листовыми шарнирами. Жесткое крепление, создающее защемление плит-оболочек, не допускается.

Покрытия из плит-оболочек размером 3×18 и 3×24 м разработаны НИИЖБом. Данная конструкция широко применяется для покрытия зальных помещений общественных зданий.

Плиты КЖС имеют в направлении пролета гиперболическое очертание. Высота плиты на опоре 145 мм, в середине пролета – 1000 мм, а для зданий с фонарями – 1050 мм. Толщина полки переменная; в средней зоне она составляет 30 мм и увеличивается у опор; толщина полки плиты с отверстием увеличивается к краю этого отверстия до 80 мм. Плита КЖС имеет продольные ребра, уклон внутренней грани которых составляет 1:25. Стенка продольных ребер усиливается поперечными ребрами. Продольные ребра армируют сетками на опорных участках длиной по 2,6 м и в месте примыкания поперечных ребер, причем толщина стенки продольных ребер составляет 40 мм, а в зоне армирования – 50 мм.

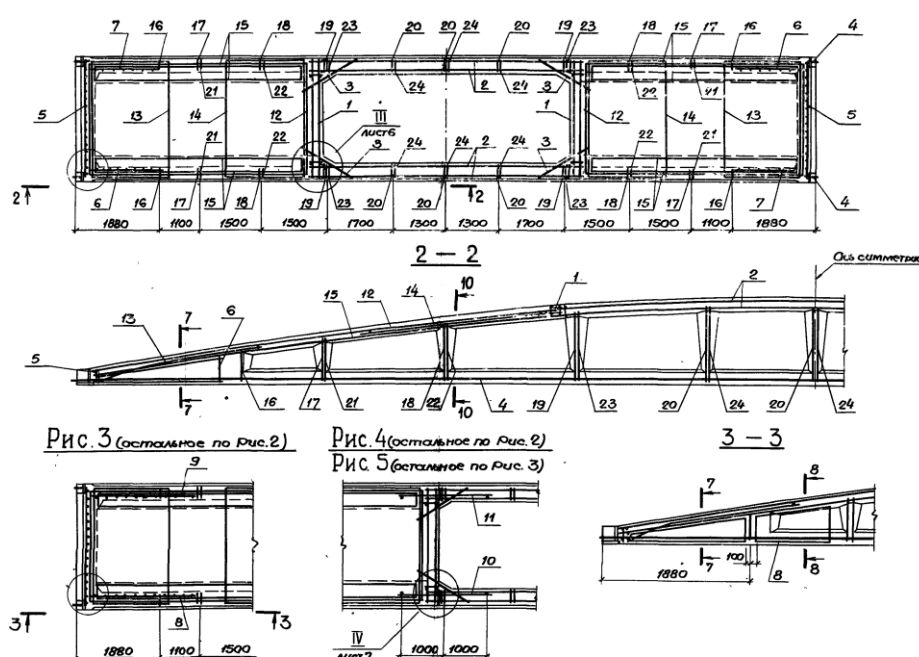


Рисунок 3.13 – Схема покрытия с плитами КЖС

Примером дальнейшего развития плит «на пролет» служат панели-оболочки на пролет типа КСО (крупнопанельная складчатая оболочка), отличающиеся тем, что образующие конструкции ребра проектируются сквозными – в виде безраскосных арочных диафрагм, соединенных поверху гладкой тонкостенной плитой толщиной 30 мм. Панели-оболочки КСО, как и КЖС, опираются на балки длиной

6–12 м (в зависимости от шага колонн) или подстропильные фермы пролетом 12 м с горизонтальным нижним поясом. Высота панелей-оболочек КСО выбрана с учетом использования межферменного пространства для пропуска коммуникаций. Нижний пояс диафрагм имеет постоянное сечение (120×140 мм), а стойки – переменное (уклон 1:25) для облегчения съема изделия с формы. Верхний пояс диафрагм имеет переменное сечение с увеличением высоты от конька к опорному узлу. При расчете прочности панелей-оболочек пространственную конструкцию условно расчленяют на элементы: арочные диафрагмы, вуюую полку и торцовые ребра. Рабочие чертежи панелей-оболочек КСО размером 3,18 и 3,24 м разработаны под расчетные нагрузки 5,5–8,5 кПа. В зависимости от района строительства, пролета и нагрузок в панелях КСО используют бетон классов

В20–В35. В качестве напрягаемой арматуры нижнего пояса применяют один стержень диаметром 22–32 мм из стали классов А– III в. Ат–V и др., верхнего пояса и стоек – диаметром 12–25 мм класса А– III. Арматурой полки служит сетка из проволоки Вр– 1 с шагом 100–200 мм. Панели изготовляют в вертикальном положении с последовательным бетонированием нижнего пояса, стоек, полки и опорных узлов конструкции и с передачей натяжения на силовую форму.

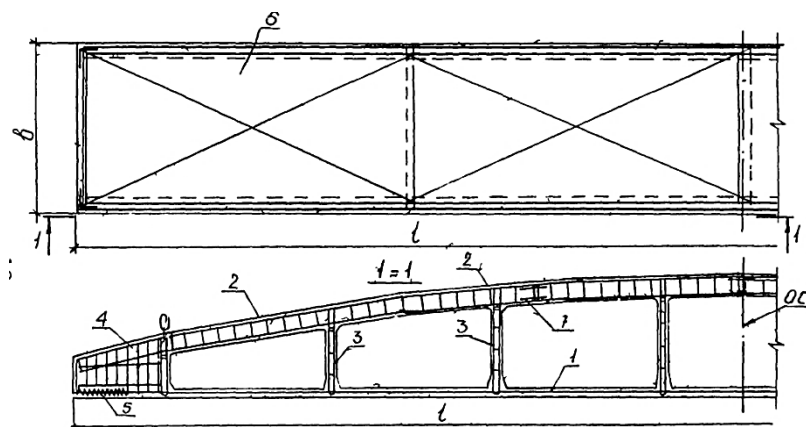


Рисунок 3.14 – Схема армирования складчатой панели-оболочки КСО:

- 1 – предварительно напряженная арматура; 2 – сварная сетка верхнего пояса фермы-диафрагмы; 3 – арматурный каркас стойки панели-оболочки; 4 – сварная сетка опорного узла; 5 – спираль; 6 – сварная сетка полки панели-оболочки; 7 – сварной стык сеток верхнего пояса фермы-диафрагмы

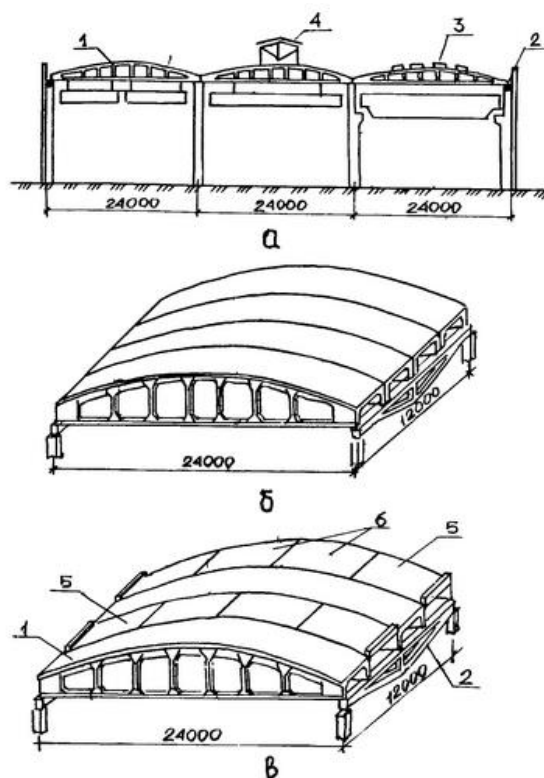


Рисунок 3.15 – Конструкции покрытий из панелей-оболочек КСО и гибких пластин:



а – конструкция покрытия с панелями–оболочками КСО; б – рядовое покрытие; в – комбинированное покрытие: 1 – панель–оболочка КСО; 2 – подстропильная конструкция; 3 – зенитный фонарь; 4 – светоаэрационный фонарь; 5 – гибкая пластина, крайняя; 6 – гибкая пластина, средняя

### 3.8 Оболочки положительной Гауссовой кривизны

Разнообразны по своей форме. Наиболее часто применяемыми являются оболочки с поверхностью *переноса* оболочки с поверхностью *тора*. Оболочки переноса образуются движением одной кривой по другой. При этом обе кривые выгнуты кверху и находятся в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Поверхность тора образуется при вращении дуги круга по круговой оси, т. е. она является частным случаем оболочки переноса. К этой же группе оболочек относятся и купола–оболочки, имеющие разнообразные очертания и конструктивные решения.

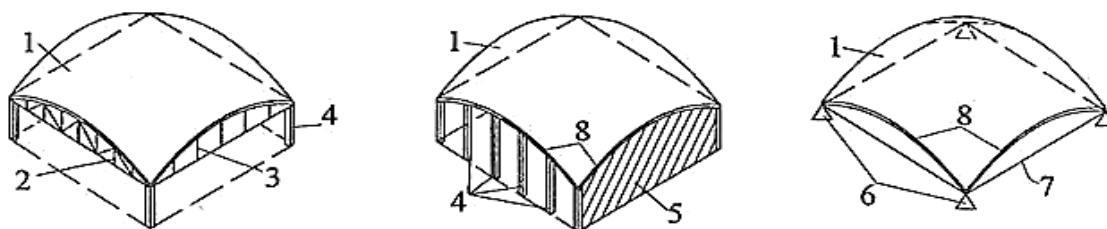


Рисунок 3.16– Оболочка положительной гауссовой кривизны, опертая по сторонам на различные контурные конструкции:

1 – оболочка; 2 – ферма; 3 – арка; 4 – колонна; 5 – стена; 6 – опора; 7 – затяжка; 8 – криволинейная балка

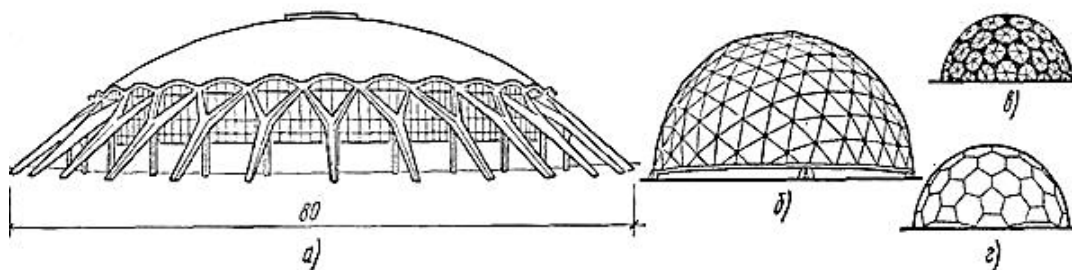


Рисунок 3.17– Купола–оболочки:

а– ребристая купольная оболочка на наклонных опорах; б– сетчатый купол по системе инж. Фуллера; в – купол из треугольных плит по системе инж. Туполева; г–сотовый купол из плоских шести– и пятиугольников

Коноиды выделены в отдельную группу из–за особенностей своей формы. Коноидальные поверхности получаются при перемещении прямой, один конец которой движется по прямой линии, а другой – по кривой.



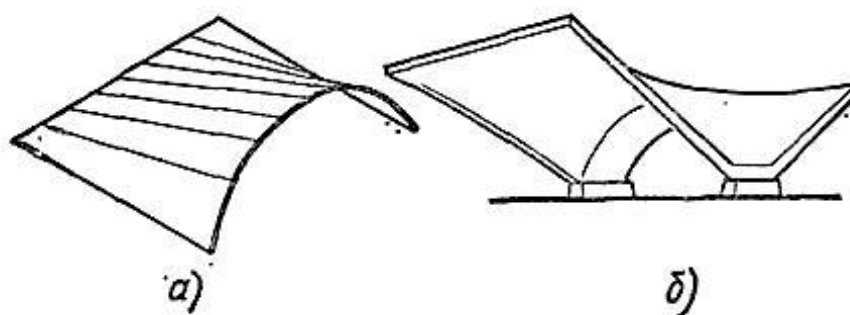


Рисунок 3.18– Коноиды: а– образование коноида;  
б– козырек перед входом в здание ЮНЕСКО в Париже

Гиперболический параболоид (гипар) получается, когда к двум выпуклым кверху параболам подвешен ряд одинаковых парабол, выпуклых книзу.

Полученная седловидная поверхность представляет собой поверхность двоякой кривизны с противоположными знаками. Вертикальные сечения гипара даёт параболические очертания, а горизонтальные сечения образуют гиперболы. Гипары применяют часто и как целую архитектурную форму, и как отдельные элементы – *вырезки* и комбинации этих вырезок.

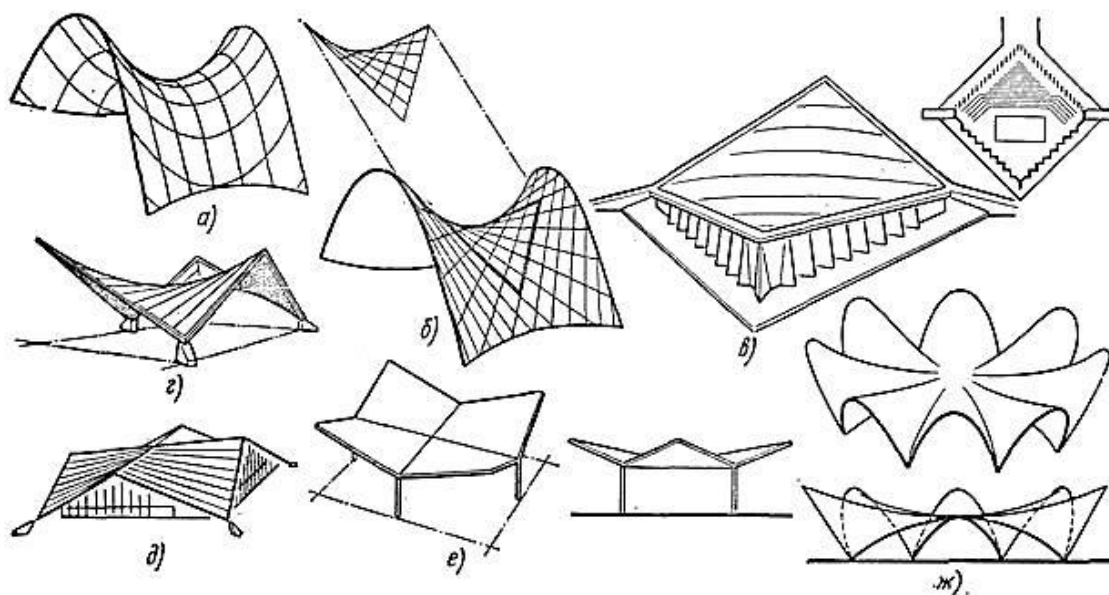


Рисунок 3.19– Гиперболические параболоиды (гипары):

а – ряд одинаковых парабол, подвешенных между двумя вертикальными параболами, образуют седловидную поверхность гипара; б – вырезка из поверхности гипара, ограниченная четырьмя прямыми линиями; в – вырезка из середины седловидной части гипара, примененная как покрытие отдельного здания; г–е – комбинации из секций гипара, имеющие в плане квадратное очертание; ж– комбинация из 8 вырезок гипара

Комбинированные оболочки состоят из разнообразных криволинейных поверхностей. Примером умелого применения комбинированных форм оболочек может служить здание аэропорта в Нью-Йорке (архит. Сааринен), в котором органично сочетается тектоника оболочек с их архитектурной выразительностью.

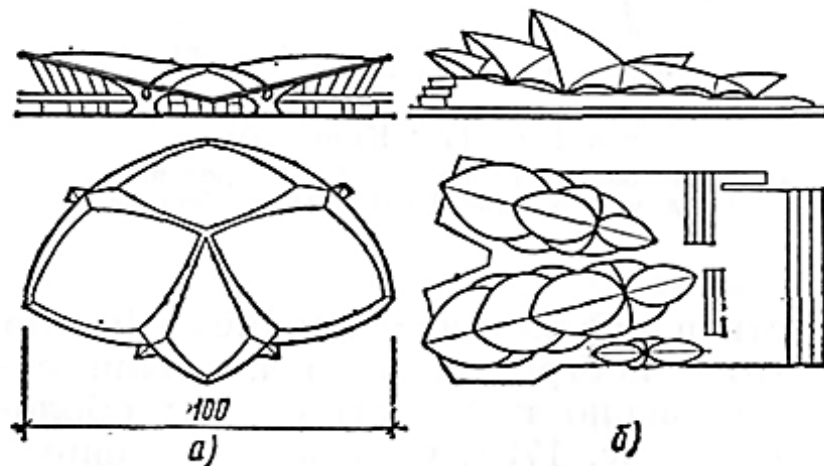


Рисунок 3.20– Комбинированные оболочки:  
а – здание аэропорта в Нью-Йорке; б – здание театра в Сиднее

### 3.9 Оболочки вращения (Купола)

**Оболочками вращения** называют такие пространственные конструкции, срединная поверхность которых образуется вращением плоской кривой или прямой линии (образующей) вокруг оси вращения, находящейся в плоскости образующей. **Оболочки с вертикальной осью вращения называются куполами.** Современные тонкостенные конструкции куполов принадлежат к наиболее экономичным пространственным конструкциям, которые позволяют перекрыть пролеты до 150 м при толщине оболочки в 1/600–1/800 пролета. В строительстве чаще всего применяются купола, срединная поверхность которых описывается дугой окружности (шаровые или сферические купола) отрезком эллипса (эллиптические купола), отрезком одной ветви двуполостной гиперболы (гиперболические купола). Применяются также конические купола, образующая которых – прямая линия, пересекающаяся с осью вращения. Преимуществом купольных конструкций является равномерное распределение усилий по конструктивному элементу, что приводит к наиболее эффективному использованию материала. Жесткость конструкции порождает сама форма, так как она не разворачивается в плоскость, тем самым образуется дополнительный резерв несущей способности конструкции. Выпуклая форма купольных покрытий обеспечивает простую систему водоотвода. Куполами называют пространственные конструкции двойкой (положительной гауссовой) кривизны, перекрывающие планы, главным образом круговые или многоугольные, вписанные в окружность. По конструктивному признаку купола делятся на ребристые, сетчатые, панельные и тонкостенные (купола–оболочки).

Купольное покрытие (рис. 3.21) состоит из оболочки и опорного кольца. В куполах с центральным отверстием для фонаря устраивается также верхнее (фонарное) кольцо.

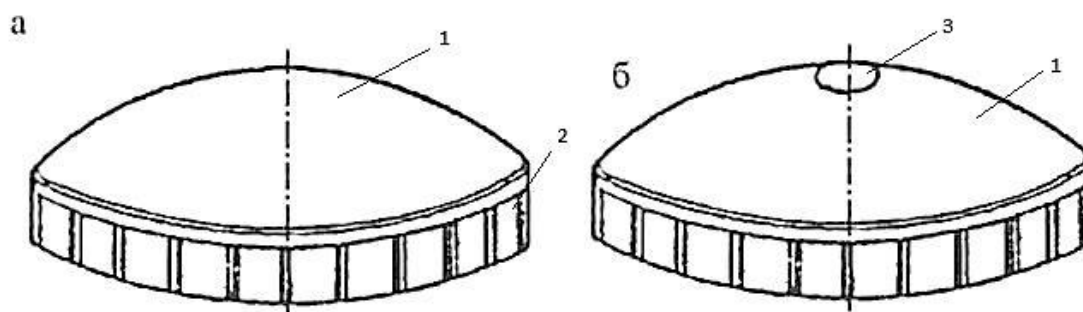


Рисунок 3.21 – Конструктивные схемы купольных покрытий:  
а – закрытый купол; б – купол с отверстием; 1 – оболочка купола; 2 – опорное кольцо; 3 – фонарное кольцо

Купола делятся на тонкостенные и толстостенные, пологие и подъемистые. Тонкостенными называют купола, толщина стенки которых не превышает  $1/20$  меньшего из их радиусов кривизны. К пологим относят купола, в которых отношение стрелы подъема к диаметру не превышает  $1/5$ . Стенки монолитных куполов чаще всего (рисунок 3.22) выполняются гладкими.

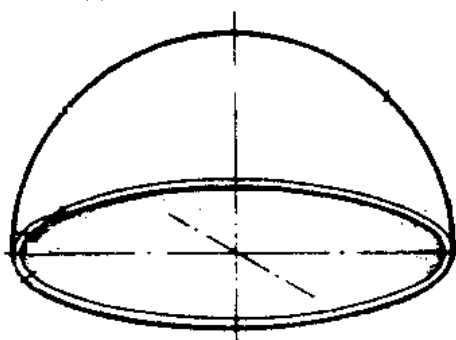


Рис. 3.22. – Купол с гладкой стенкой

Ребристые купола. Конструктивной основой ребристых куполов (Рис. 3.68) служат крупноразмерные, идущие от опор к вершине, элементы большой жесткости ребра. Архитектоника ребристых куполов подчеркивает концентрацию силовых потоков вдоль главных меридианов ребер купола. Ребристым куполам свойственна меридиональная пластика – зонтичные, волнистые, каннелированные формы поверхности.

*Собственно ребристые купола* (рисунок 3.23, а) представляют собой систему полуарок, расположенных в вертикальных плоскостях. В состав ребристого купола входят также верхнее кольцо, к которому сходятся концы полуарок, и нижнее кольцо, на которое они опираются. Диаметр верхнего кольца назначают минимальным, насколько это позволяют условия размещения сходящихся к нему ребер. Но по архитектурным соображениям (например, установка фонаря) диаметр кольца может быть увеличен. Верхнее кольцо, работающее на сжатие и кручение, проектируют жестким. При необходимости его усиливают распорками. Нижнее, растянутое кольцо покоится на колоннах или на стене. Его проектируют многоугольным по числу ребер и соответственно колони. Если шаг ребер невелик (до 6 м), кольцо может быть круговым. При упоре ребер непосредственно в фундамент нижнее кольцо как конструктивный элемент может отсутствовать.

Пространственная устойчивость ребер–полуарок обеспечивается системой кольцевых и диагональных связей. И собственно ребристых куполах функции восприятия распора возлагаются только на нижнее кольцо, поэтому сечения промежуточных кольцевых связей определяются не статическим расчетом, а конструктивными соображениями.

Если кольцевые связи предполагается использовать как силовые элементы пространственного каркаса купола, то их включают в его работу и сечения определяют расчетом. Такой купол называется *ребристо-кольцевым* (рисунок 3.23, б). Включение кольцевых связей в общую статическую работу купола позволяет несколько разгрузить полуарки и тем самым уменьшить их сечения. Однако кольцевые элементы, получившие дополнительные усилия, утяжеляются. Поэтому вопрос об предпочтении того или иного типа купола решают путем технико-экономического сопоставления вариантов. Практика показывает, что чем больше диаметр купола, тем выгоднее становится ребристо-кольцевая система. Ребристо-кольцевые купола сравнительно малых пролетов иногда проектируют с жесткими узлами соединения ребер с кольцевыми элементами. Такие системы называют ребристо-рамными (рисунок 3.23, б). Они не нуждаются в диагональных связях.

*Ребристо-сетчатые купола* (рисунок 3.23, г) сохраняют меридиональную основу построения. Но поля между ребрами заполняются сеткой, чаще всего в виде переплетения второстепенных ребер, не достигающих до вершины, и горизонтальных кольцевых поясов.

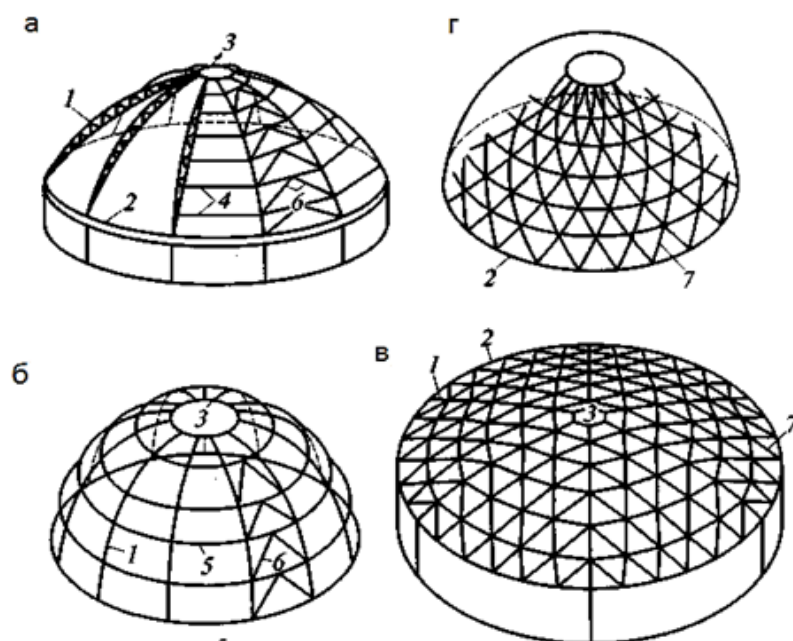


Рисунок 3.23 – Типы куполов:

- а– ребристый; б– ребристо-кольцевой;  
 в–ребристо-сетчатый; г– сетчатый; 1– ребра;  
 2– нижнее опорное кольцо; 3– верхнее кольцо; 4– прогоны;  
 5– промежуточные кольца

Геодезический купол – это многогранник, имеющий треугольные, ромбические или многоугольные грани. Все узлы геодезического купола лежат на сферической поверхности, а ребра – это хорды (рисунок 3.24).

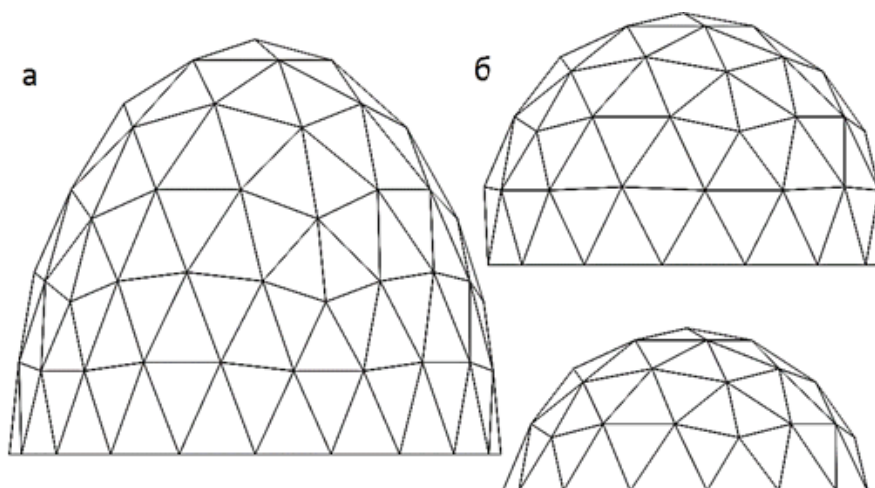


Рисунок 3.24 – Эллиптические геодезические купола – вытянутый (а) и сплюснутый (б)

В отличие от сетчатых куполов все элементы геодезического купола однотипные. Каждый элемент может быть плоским или пространственным и совмещать в себе несущие и ограждающие функции. Материалом геодезического купола является алюминий.

*Волнистый и складчатые купола* – имеют поверхность, состоящую из оболочек двойной кривизны и складок, сходящихся к полюсу купола. Такие купола применяют в покрытиях до 80 м. Их выполняют монолитными и сборно-монолитными из сопряженных сегментов оболочек – волн одинарной или двойной кривизны. Несмотря на больший, чем у гладких куполов, расход материала, волнистая (складчатая) конструкция обладает рядом преимуществ: благодаря открытым наружным торцам волн обеспечивается полноценное верхнебоковое естественное освещение внутренних пространств и устройство входов, а выразительная объемная форма конструкции обогащает композицию фасадов и интерьера здания. Недостатком является сложность устройства утепления кровли.

**Железобетонные купола.** Для железобетонных тонкостенных куполов характерны гладкие или волнистые (складчатые) формы, описываемые, в целом, поверхностью вращения. Область эффективных пролетов таких покрытий – от 25 до 120 м. Однако известны уникальные сооружения, имеющие более крупные пролеты, например  $D = 132$  м (г. Урбана, США).

В зависимости от отношения стрелы подъема  $f$  к диаметру  $D$  опорного контура различают купола пологие  $-f/D = 1/5 - 1/10$  и подъемистые  $-f/D > 1/5$ . Наибольший экономический эффект получается при  $f/D = 1/3 - 1/5$ , однако в целях уменьшения поверхности покрытия рекомендуется принимать  $f/D = 1/6 - 1/7$ .

Основными конструктивными элементами купола являются оболочка и нижнее опорное (растянутое) кольцо, воспринимающее распор (см. рисунок 3.25 а). При наличии центрального проема устраивают верхнее (сжатое) кольцо (см. рисунок 3.25 б). Если по периметру купола  $D < 30$  м имеется плоское кольцевое перекрытие, распор воспринимается последним (см. рисунок 3.25 в). Железобетонные купола могут быть монолитными, сборными и сборно-монолитными.

Оболочки монолитных куполов выполняют, преимущественно, гладкими, а сборных – ребристыми из цилиндрических или плоских панелей.

На стадии предварительного проектирования толщину  $t$  гладкой оболочки принимают равной  $1/600 - 1/800$  радиуса кривизны купола в вершине, но не менее 50 мм по технологическим условиям, с постепенным увеличением ее к опорному и фонарному кольцу.

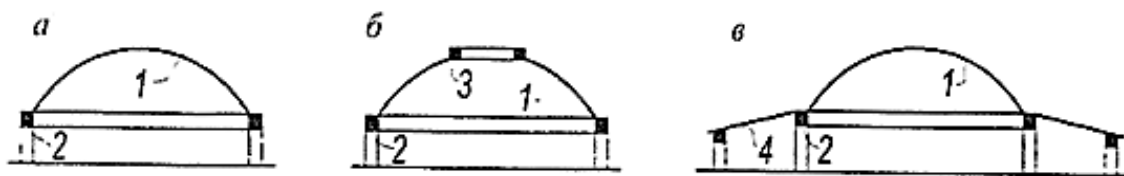


Рисунок 3.25. – Конструктивные схемы тонкостенных купольных покрытий:

а– с полным куполом; б– с куполом, усеченным для центрального проема; в– с куполом, объединенным с плоским кольцевым перекрытием пристройки; 1– оболочка купола; 2– опорное кольцо; 3 – кольцо центрального проема; 4– плоское кольцевое перекрытие.

В последующем расчете толщину оболочки уточняют проверкой условия устойчивости, В том случае» когда гладкая оболочка не проходит по устойчивости или на нее действуют сосредоточенные нагрузки, поверхность купола усиливается меридиональными, а при необходимости и кольцевыми ребрами, высота  $h$  которых принимается равной  $(1/100–1/150)D$ .

Конические купола имеют толщину оболочки  $t=(1/100–1/150)D$ , а следовательно, значительно уступают сферическим по технико-экономическим показателям.

Купол конструируют в соответствии с усилиями, полученными расчетом. Оболочка купола, за исключением приопорной зоны, сжата. Сжимающие усилия воспринимаются полностью бетонным сечением оболочки, поэтому ее армируют конструктивно в количестве не менее 0,2 % площади сечения бетона.

Способ возведения монолитных куполов любого очертания на сплошных лесах и подмостях, повторяющих геометрию купола, сложен, требует больших затрат и поэтому применяется редко. Такие покрытия предпочтительно сооружать индустриальными методами с использованием сборно-разборной или пневматической опалубки.

Наиболее распространены купола из сборных железобетонных элементов. При их возведении стрелу подъема целесообразно выбирать такой, чтобы в оболочке возникали только усилия сжатия.

В сборном или сборно-монолитном варианте купол состоит из криволинейных или плоских трапециевидных плит (панелей) толщиной не менее 30 мм, усиленных по краям продольными ребрами, размеры и армирование которых назначают в соответствии с требованиями транспортирования и монтажа. Высота сечения  $h$  ребер плиты принимается равной  $1/20–1/30$  их длины  $l$ , а ширина  $b=(0,25–0,5)h$ , но не менее 40 мм. Бетон оболочки и швов замоноличивания должен быть не ниже класса В–20.

**Деревянные купола.** Деревянные тонкостенные купола проектируют диаметром основания  $D=12–36$  м. Они, как правило, имеют сферическое очертание. Купол состоит из кольцевого и косоугольного дощатых настилов, подкрепленных легкими меридиональными ребрами (арочками), верхнего и нижнего опорного кольца.

Меридиональные ребра воспринимают сжимающие усилия в оболочке по направлению меридиана, и передают их на верхнее и нижнее кольца. Ребра состоят из нескольких слоев с клееных или сшитых гвоздями досок общей высотой поперечного сечения не менее  $1/250D$  принимаемой из условия жесткости. Шаг ребер по нижнему опорному кольцу назначают равным 0,75–1,5 м для обеспечения устойчивости купола.

Кольцевой настил воспринимает усилия, действующие в кольцевом направлении оболочки. Толщину досок этого настила принимают равной 19–25 мм. В нижней части купола, где могут возникать растягивающие кольцевые усилия (при  $f/D>1/5$ ), настил вы-

полняют из двух слоев досок. Оба слоя прибивают гвоздями. В верхней части купола, где действуют сжимающие кольцевые усилия, настил выполняют из одного слоя досок толщиной, равной двойному нижнему кольцевому настилу.

Косой настил воспринимает сдвигающие усилия, которые возникают при несимметричной нагрузке на купол. Он состоит из одного слоя досок толщиной 16–25 мм, укладываемого сверху кольцевого настила под углом  $45^\circ$  к меридиональным ребрам (в виде «елочки»).

Нижнее опорное кольцо воспринимает распор меридиональных ребер и работает на растяжение. Оно может быть железобетонным, деревянным или металлическим в зависимости от вида нижних опорных конструкций (железобетонные фундаменты, металлические или деревянные стойки и др.).

Верхнее кольцо изготавливают металлическим или деревянным. Деревянные кольца могут быть клееными или кружальными на гвоздях.

Тонкостенные купола могут быть выполнены из крупнопанельных клефанерных элементов, что значительно снижает трудоемкость возведения покрытия. Купола собирают с помощью лесов.

**Купола из пластмасс.** В качестве материала для тонкостенных гладких куполов могут использоваться пластмассы, обладающие свето- и радиопрозрачностью. Область применения – фонари из светопрозрачного органического стекла («плексигласа»), цельные небольших размеров или составные диаметром до 10 м при толщине оболочки до 20 мм; купола обтекателей радиолокационных антенн диаметром до 60 м и высотой до 40 м. Легкость, прочность, удобоформируемость стеклопластиков позволяют использовать их для изготовления панелей сборных куполов.

Купола-оболочки бывают однослойными, двух- и трехслойными. Однослойные купола изготавливают из оргстекла, полиэфирного светопрозрачного стеклопластика и пенопласта (пенополистирола и др.). Двухслойная оболочка состоит из наружного стеклопластикового слоя и внутреннего пенопластового. Трехслойные купола общей толщиной от 15 до 50 мм имеют стеклопластиковые обшивки толщиной до 3 мм и средний слой из пенополистирола, пенополиуретана, сотопласта и просто воздушной прослойки.

Диаметр и толщина однослойных куполов из органического стекла достигают, соответственно, 10 м и 20 мм; из стеклопластика – 9 м и 6 мм; из пенопласта – 24 м и 200 мм. Параметры двухслойных куполов аналогичны однослойным стеклопластиковым, так как внутренний пенопластовый слой, в основном, выполняет функцию утеплителя. Трехслойные купола возводят диаметром до 25 м и общей толщиной оболочки до 50 мм.

Однослойные панели сборных куполов могут быть лотковой, треугольной или трапециевидной формы (плоской или выпуклой). Они имеют отбортовки (фальцы), удобные для болтовых соединений. При необходимости в швах прокладывают металлические полосы жесткости или кромки панелей усиливают уголками. Таким панелям можно придавать любые формы. Детали трехслойной панели типа «сэндвич» показаны на рисунке 3.26.

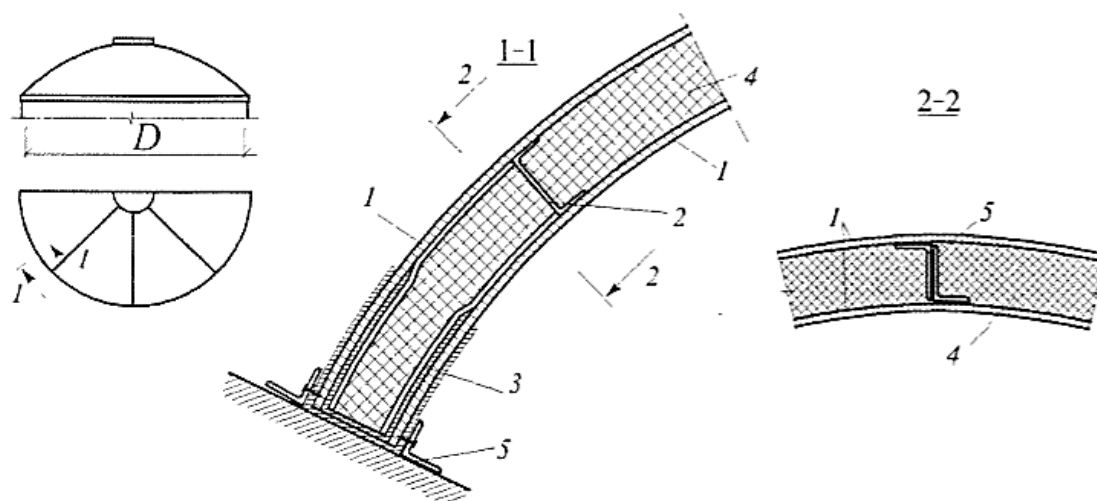


Рисунок 3.26. – Детали сферического пластмассового купола из трехслойных панелей – схема купола (разрез, план):

1– внешний слой стеклопластика; 2– швеллер из стеклопластика (ребро жесткости); 3– швеллер опорной кромки панели; 4– средний слой из пенопласта; 5– стальные опорные уголки

### 3.10 Оболочки на сложных планах

К оболочкам сложных форм относятся, прежде всего, оболочки на планах, отличающихся от кругового, овального, прямоугольного. Наиболее простые их разновидности – это комбинации двух или нескольких простых форм – сферической, цилиндрической, конической, тороидальной (рисунок 3.27.). Непосредственное соединение разнородных поверхностей возможно лишь при наличии общих касательных по линии контакта. Выходом из положения может быть либо включение переходных участков (рисунок 3.28), либо устройство мягких или жестких (последние нежелательны) линейных конструкций, воспринимающих равнодействующую усилий в стыкуемых кромках оболочек, касательные к которым пересекаются под углом. Чем рельефнее поверхность, тем большее значение приобретают эти вспомогательные элементы.



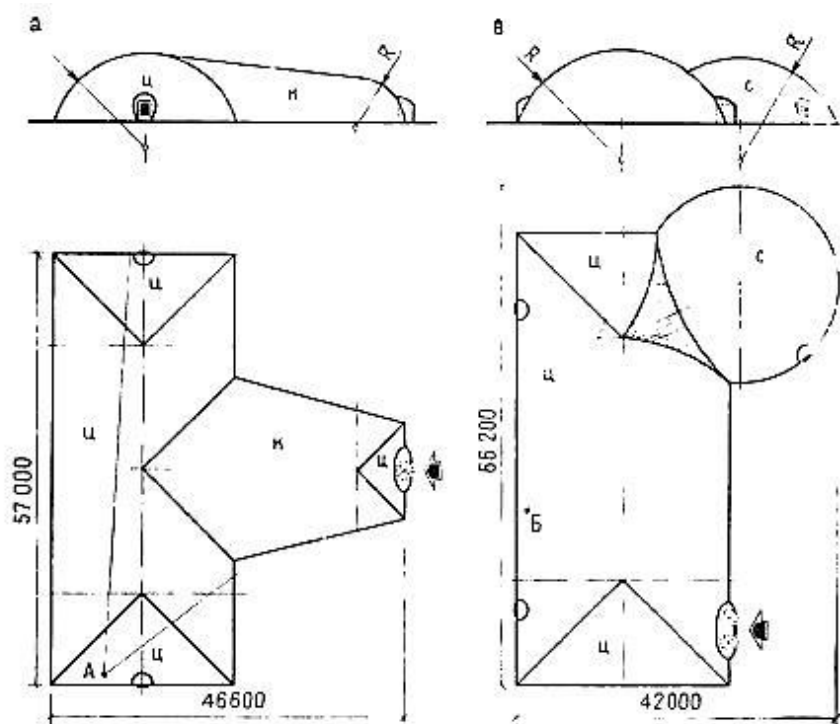


Рисунок 3.27.– Оболочки, составленные из простых геометрических форм: фасады и планы плавательных бассейнов в Вольфсбурге, ФРГ (Крупп. 1971):  
а– цилиндрические (ц)+коническая (к); вверху – то же. фото из точки А : в – цилиндрические (ц) + сферическая (с); внизу – то же. фото из точки Б (переходная поверхность заштрихована).

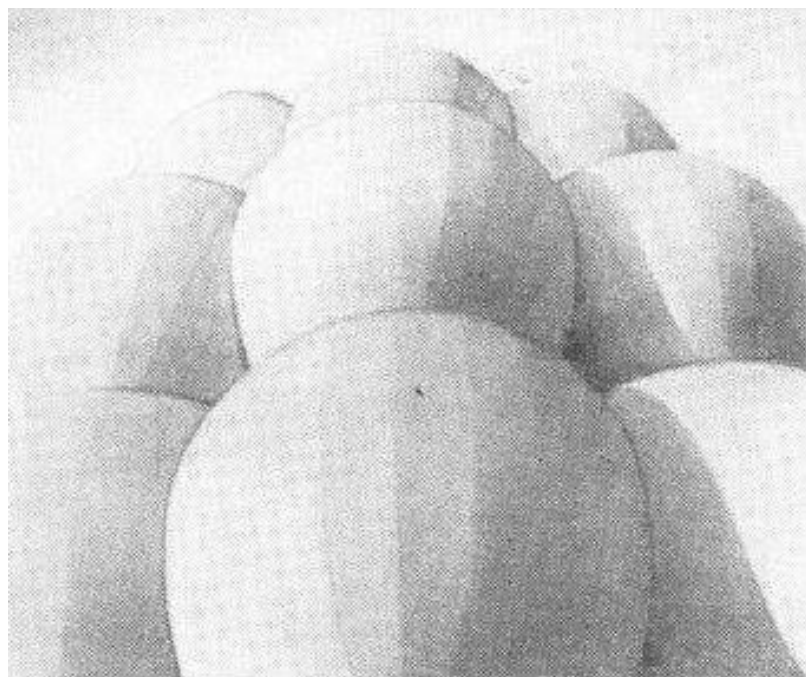


Рисунок 3.28. – Оболочка, составленная из сферических форм (арх. В. Ланди, США)

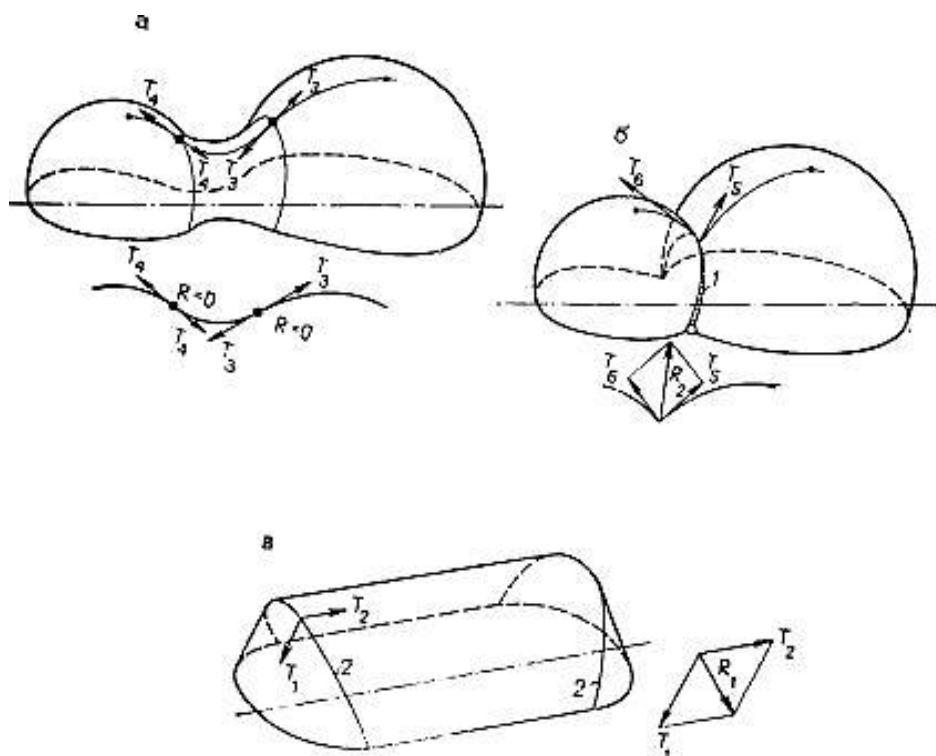


Рисунок 3.29. – Сопряжение разнородных поверхностей оболочек с помощью: а – плавного переходного участка; б – обтягивающего каната; в – жесткой арки;

$T$  – усилия в оболочках;

$R$  – равнодействующая усилий  $T$

К оболочкам сложной формы относятся и такие, которым при сравнительно простом плане по архитектурным или иным соображениям придается усложненная поверхность. Примером может служить покрытие аквапарка в Ханты-Мансийске. Эта оболочка состоит из трех секторных сферических оболочек, опирающихся на одну центральную башню и на систему с шарнирными стойками и связями по внешнему контуру составной оболочки. Соседние секторы оболочки объединены между собой раскосной решеткой остекления по линиям примыкания. Эта решетка в сочетании с опорными ребрами оболочек превращается как бы в сталебетонную ферму, поддерживающую обе примыкающие секции оболочек (рисунок 3.29)

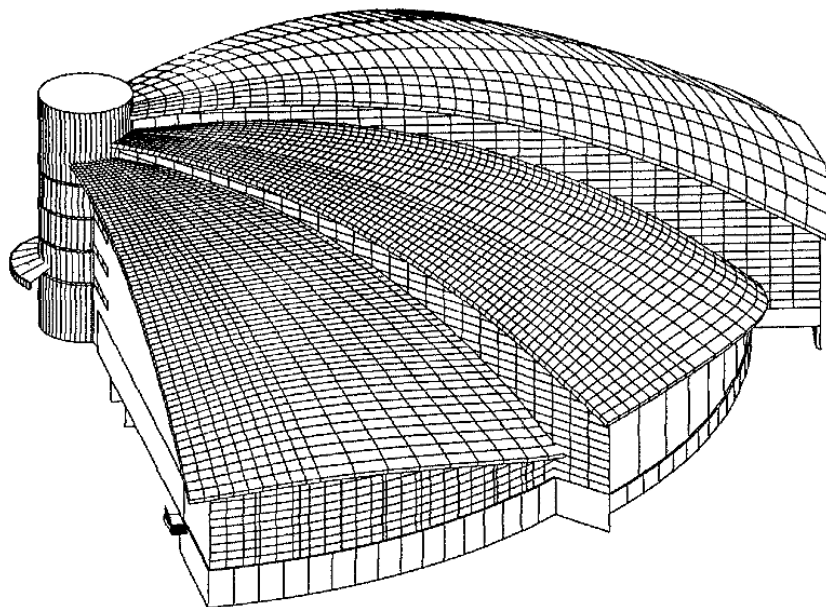


Рисунок 3.29.—Оболочка покрытия аквапарка в Ханты-Мансийске

К наиболее сложным видам относятся оболочки с совершенно произвольным планом. План оболочки, показанный на рис. 3.30.а, усложнен тем, что она приспособлена к очертанию плоской крыши здания, на которой смонтирована.

Оболочкой с размерами в плане 30,5х91,5 м при высоте 24,4 м покрыто несколько зрелищных помещений (в том числе цирк). Она отличается еще большей сложностью и выпуклостью форм, почему, вероятно, и получила собственное имя «Чикагской Венеры» (рисунок 3.30,в, б).

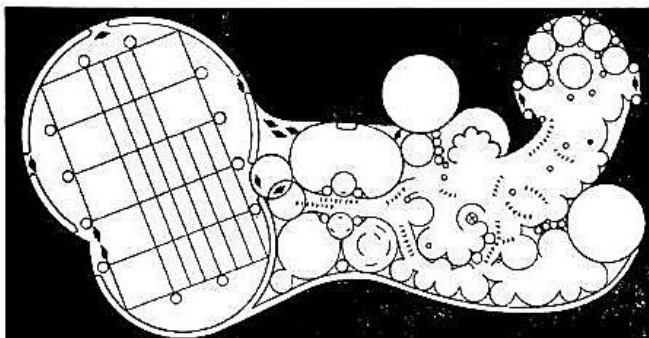
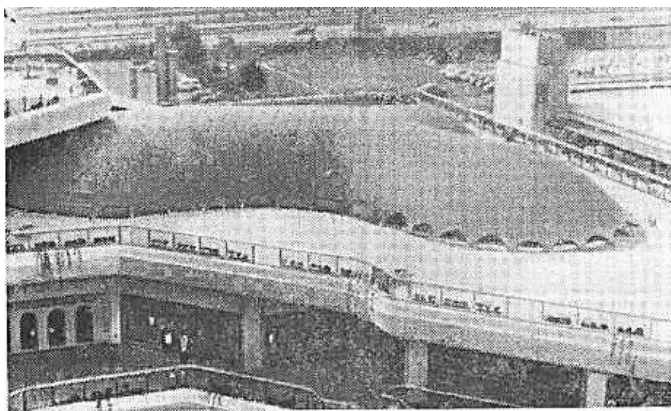


Рисунок 3.30. – Оболочки со сложным планом

а – оболочки на крыше клуба. Осака, Япония (фирма «ТайоКогио», 1973); план (б) и фасад (в) оболочки над комплексом зрелищных помещений (проект Б. Квентина, США)

### 3.11 Пологие оболочки положительной гауссовой кривизны на прямоугольном плане

Рассматриваемый тип покрытия является одним из наиболее распространенных, поскольку большинство промышленных и общественных зданий имеют прямоугольные планы, а оболочки положительной кривизны наиболее эффективны с точки зрения статической работы.

Покрытие состоит из тонкостенной оболочки переноса или вращения и контурных элементов – диафрагм, передающих нагрузку на колонны или несущие стены. Для покрытий производственных зданий наиболее часто применяют оболочки размерами в плане  $18 \times 24$  и  $18 \times 30$  м; для общественных и спортивных зданий диапазон размеров пространственных покрытий значительно шире – от  $12 \times 18$  м до 200 м и более. В нашей стране наибольшие размеры построенных железобетонных покрытий такого типа достигают 100 м (торговый центр в Челябинске –  $102 \times 102$  м и крытый рынок в Минске –  $103 \times 103$  м).

Поверхность оболочки может иметь очертание эллиптического параболоида или сферы. Применительно к пологим оболочкам эти поверхности мало отличаются друг от друга. В связи с этим при конструировании обычно применяют сферические оболочки, имеющие постоянную кривизну, обеспечивающую унификацию сборных элементов оболочки. Для сборных оболочек, прямоугольных в плане, рекомендуется также применять часть тороидальной поверхности, имеющую положительную кривизну. Применение такой поверхности позволяет сократить количество типоразмеров сборных плит.

В зависимости от количества и расположения ячеек здания отдельно стоящими оболочки бывают одноволновыми и многоволновыми. Многоволновые оболочки могут быть неразрезными и разрезными. В неразрезных оболочках приконтурные зоны соседних конструкций жестко связываются между собой и с диафрагмами. Сборные многоволновые оболочки рекомендуется проектировать, как правило, разрезными. Неразрезные оболочки в целом более жесткие, чем разрезные, но требуют большего расхода стали, так как в зоне общего контура перпендикулярно к нему возникают растягивающие усилия. Их рекомендуют применять при нагрузках на покрытия, превышающих  $6 \text{ кН/м}^2$ , а также в районах с сейсмичностью 7 баллов и более. Оболочка по контуру опирается на диафрагмы, которые выполняются в виде арок, ферм и контурных брусев.

Арки и фермы применяют, как правило, в многоволновых покрытиях, в которых оболочка опирается на четыре угловые точки. В отдельно стоящих оболочках, опертых по периметру здания на ряд часто расположенных колонн или на стены, используют контурный брус. Фермы как более жесткие в вертикальной плоскости имеют преимущество перед арками. В много волновых решениях смежные оболочки проектируют на общей диафрагме, а в зоне температурных швов – на спаренных диафрагмах и колоннах.

Толщину и армирование средней зоны гладких монолитных оболочек, где действуют только сжимающие усилия, назначают конструктивно (рис. 3.31, г). В приконтурных и угловых зонах оболочку рекомендуется утолщать. При этом в приконтурных зонах укладывают дополнительную рабочую арматуру для восприятия изгибающих моментов, а в угловых зонах – косую арматуру для восприятия главных растягивающих усилий.

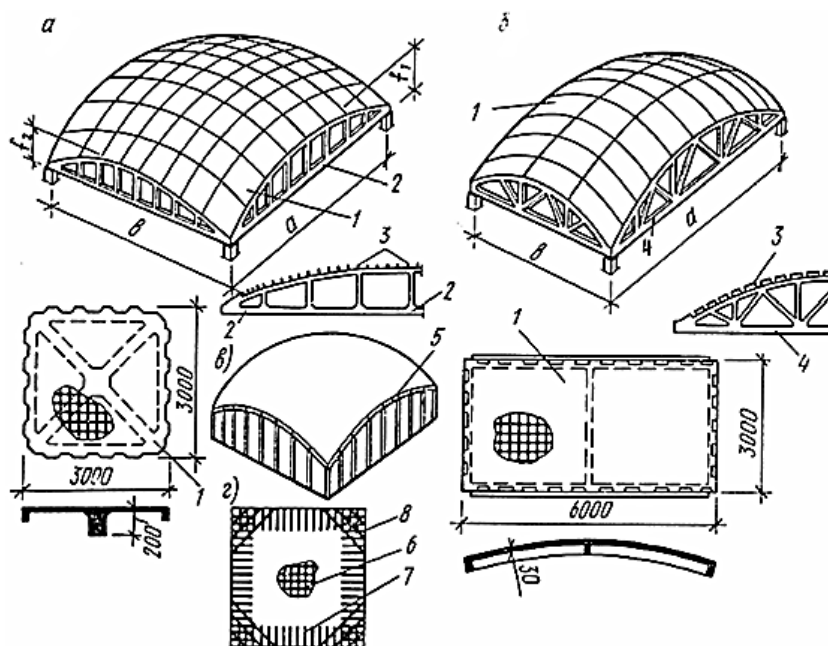


Рисунок 3.31.— Конструктивные решения пологих сборных оболочек положительной гауссовой кривизны на прямоугольном плане (а — в); схема армирования монолитной оболочки (г): 1 — сборные плиты оболочки; 2 — диафрагма-арка; 3 — выпуски арматуры; 4 — диафрагма-ферма; 5 — контурный брус; 6 — конструктивная арматура; 7 — арматура, рассчитываемая на краевой изгибающий момент; 8 — угловая растянутая арматура

Сборные оболочки выполняют из ребристых плит, поверхность которых может быть плоской, цилиндрической или двоякой кривизны. Рекомендуется применять плоские и цилиндрические плиты (рисунок 3.31, а, б), так как плиты двоякой кривизны более сложны в изготовлении. Наиболее распространены плоские плиты размерами 3×3, 3×6, 1,5×6 м и цилиндрические размерами 3×6 и 3×12 м.

Толщину полки плиты обычно определяют технологическими возможностями завода-изготовителя и принимают 30–35 мм, а при больших пролетах до 40...50 мм. Плиты проектируют с контурными и поперечными ребрами. Размеры ребер и их армирование назначают расчетом прочности и жесткости при транспортировании, монтаже и проверяют на расчетные нагрузки в стадии эксплуатации. По внешним боковым граням ребер плит предусматривают пазы для образования шпонок, воспринимающих после замоноличивания швов сдвигающие усилия.

Чтобы не вводить дополнительные типы плит в угловых зонах, где возникают растягивающие усилия, устанавливают дополнительную предварительно напряженную или обычную арматуру по верху плит и укладывают слой монолитного бетона. При этом следует принимать необходимые меры для обеспечения сцепления сборного и монолитного бетона. Поле оболочки армируют сварными сетками, ребра — сварными каркасами с рабочей арматурой класса АIII.

В контурных брусках, опертых на ряды колонн, помимо растягивающих усилий действуют изгибающие моменты, по характеру аналогичные моментам в неразрезных балках. Арматуру в контурном бруске рассчитывают на внецентренное растяжение и размещают по контуру сечения бруса. Ее рекомендуется выполнять предварительно напря-

женной. Для улучшения передачи сдвигающих усилий с оболочек на диафрагмы на верхнем поясе последних устраивают выступы для образования шпонок.

### 3.12 Оболочки нулевой Гауссовой кривизны (Цилиндрические оболочки)

Цилиндрическими оболочками называют тонкостенные покрытия, состоящие из тонкой криволинейной плиты (собственно оболочки), бортовых элементов и поперечных диафрагм.

Цилиндрические оболочки бывают однопролетными и многопролетными, одноволновыми и многоволновыми. В зависимости от характера работы под нагрузкой оболочки условно разделяются на длинные, отношение пролета которых  $l_1$  к длине волны  $l_2$  более 4; средней длины при  $l < l_1 / l_2 < 4$  и короткие при  $l_1 / l_2 \leq 1$ . Первые два вида обычно объединяют одним наименованием – длинные оболочки. Применяемые на практике длинные оболочки обычно имеют размеры:  $l_1 = 24; 30; 36$  м;  $l_2 = 12$  м, короткие  $l_1 = 12$  м,  $l_2 = 24$  м.

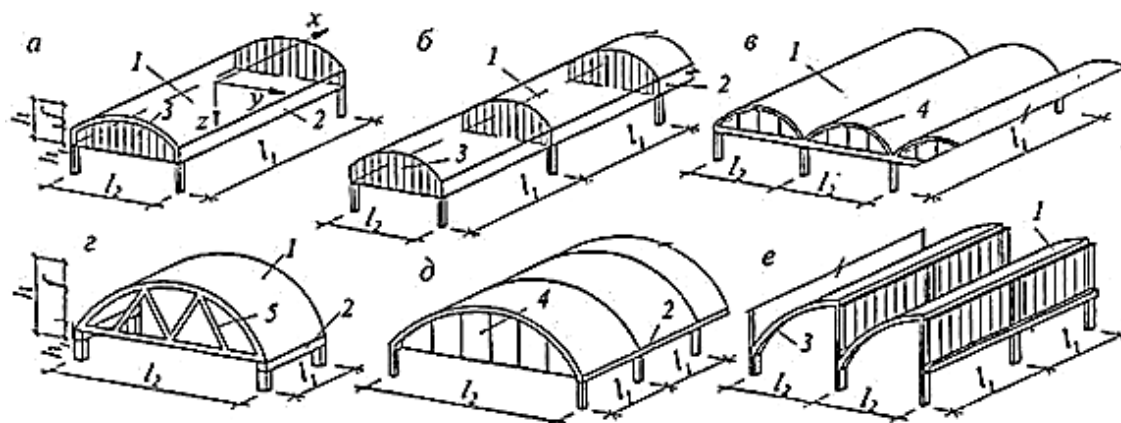


Рисунок 3.32. – Цилиндрические оболочки:

Длинные: а – однопролетная; б – многопролетная; в – многоволновая; короткие: г – однопролетная; д – многопролетная; е – шедовая; 1 – оболочка; 2 – бортовой элемент; 3 – торцевая диафрагма в виде балки переменного сечения; 4 – арки; 5 – фермы

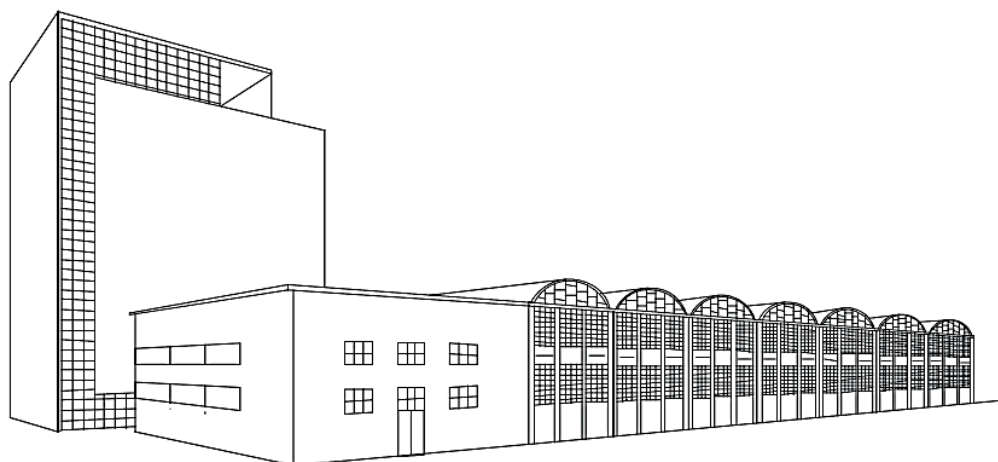


Рисунок 3.33. – Пример применения цилиндрических оболочек в Румынии

### 3.13 Длинные цилиндрические оболочки

Длинные железобетонные оболочки перекрывают пролеты от 15 до 30 м, бывают случаи перекрытия 36 и 50 метров. Высоту оболочки  $h$ , включающую сечение бортового элемента, рекомендуется принимать  $(1/10-1/15) l_1$ , стрелу подъема  $f = (1/6-1/8) l_1$ , а высоту бортовых элементов  $(1/20-1/30) l_1$  (рисунок 3.34, а). Оболочки бывают монолитные (гладкие) и сборные ребристые, получившие более широкое распространение вследствие своей индустриальности. Очертание плит оболочки может быть круговым, эллиптическим и т.п. Наиболее простым и удобным для сборных плит является круговое очертание.

Бортовые элементы, в которых размещается основная растянутая арматура, существенно уменьшают вертикальные и горизонтальные смещения краев оболочки. Это видно из рис. 3.34, г, на котором показаны усилия и перемещения в поперечном сечении оболочки при отсутствии и наличии бортовых элементов. Для сборных конструкций обычно применяют предварительно напряженные бортовые элементы.

Опорные диафрагмы выполняют в виде арок с затяжкам или балок переменной высоты, опирающихся на колонны или стены.

Сборные длинные оболочки бывают двух типов. Элементы первого типа совмещают в себе оболочку и бортовой элемент, объединенные в одну систему напрягаемой арматурой, проходящей через каналы в бортовых элементах. Монтаж таких конструкций сложен. Плиты оболочки второго типа отделены от бортового элемента. *Недостатком такой конструкции является сложность изготовления шпоночного шва между плитами и бортовыми элементами.* Основные размеры в плане типовых сборных оболочек  $12 \times 18$ ;  $12 \times 24$ ;  $12 \times 36$ . Приведенная толщина конструкции составляет 8–9 см, расход арматуры 13–15 кг/м<sup>2</sup>.

Возведение сборных цилиндрических оболочек осуществляют в двух основных вариантах. В первом варианте предварительно напряженные бортовые элементы пролетом  $l_1$  устанавливают на проектной отметке, а для уменьшения монтажных усилий под них подводят 2–3 временные опоры. По верху бортовых элементов укладывают сборные ребристые криволинейные панели размерами  $3 \times 12$  м

(рисунок 3.34, д). Далее производят сварку выпусков арматуры плит и бортового элемента и замоноличивание швов. После того как бетон затвердеет, временные опоры убирают, и оболочка работает как пространственная конструкция. С целью экономии материалов и устройства водостока бортовые элементы могут выполняться переменной высоты с некоторым увеличением подъема конструкции в средней части пролета. Во втором варианте ребристые плиты оболочки размерами  $3 \times 6$  м (рисунок 3.34, е) бетонируют на заводе с бортовыми элементами.

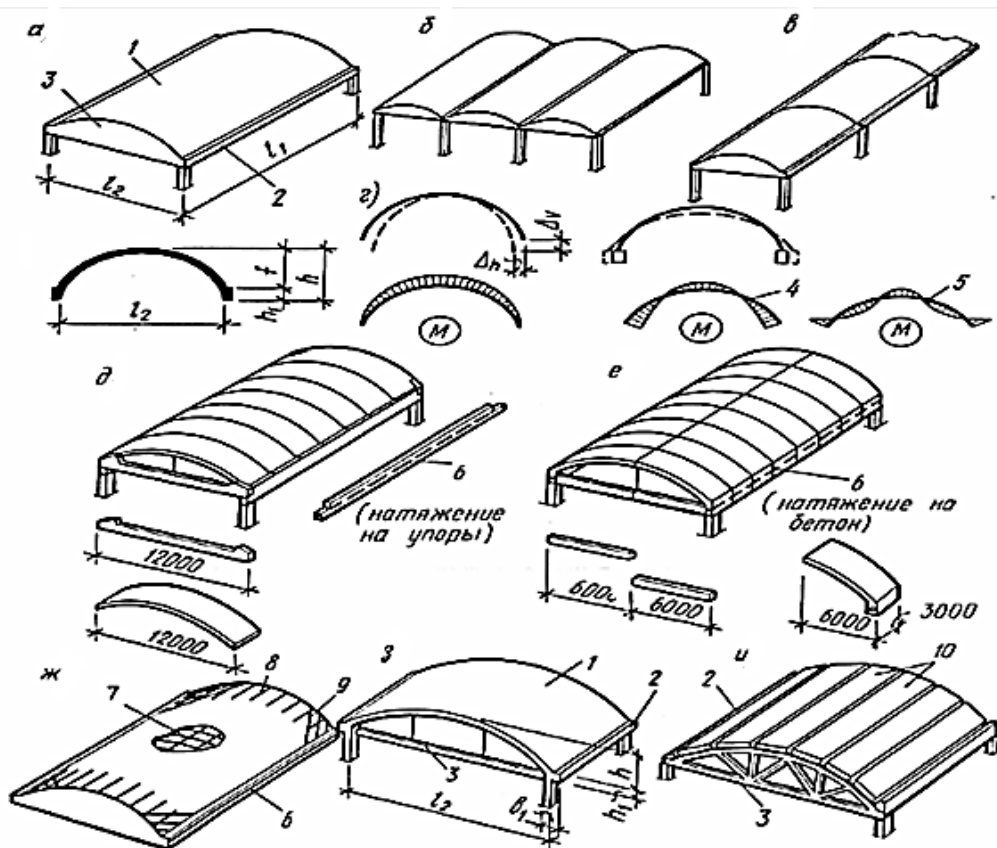


Рисунок 3.34.— Конструкции длинных (а – ж) и коротких (з, и) цилиндрических оболочек: 1 – оболочка; 2 – бортовой элемент; 3 – диафрагма; 4 – одноволновая и 5 – многоволновая оболочки; 6 – напрягаемая арматура; 7 – конструктивная арматура поля оболочки; 8 – арматура, рассчитываемая на краевой момент; 9 – угловая растянутая арматура; 10 – сборные плиты оболочки

Затем на лесах все элементы объединяют в единую систему с помощью предварительно напряженной арматуры, пропускаемой через специальные каналы, устраиваемые в бортовых элементах. После сварки стыков, замоноличивания швов и инъекции каналов раствором леса убирают.

Первый вариант по расходу материалов менее экономичен, что связано с условиями работы сборных элементов на монтаже и наличием стыков элементов оболочки с бортовыми элементами, однако он не требует устройства лесов и проведения на строительной площадке ответственных работ по натяжению арматуры и инъектированию раствора.

Все элементы оболочки должны быть рассчитаны на усилия, возникающие при изготовлении, монтаже, а также эксплуатации готового сооружения. Конструкция стыков зависит от вида передаваемых через них усилий. В средней части сборных оболочек в нормальных сечениях действуют сжимающие и небольшие сдвигающие усилия. Стыки здесь решаются путем замоноличивания швов бетоном и устройства шпонок. В местах соединения оболочки с бортовыми элементами и диафрагмами действуют значительные сдвигающие усилия и изгибающие моменты. Их воспринимают шпонками и сваркой выпусков арматуры. В угловых зонах для восприятия главных растягивающих напряжений смежные элементы соединяют сваркой выпусков арматуры или накладками через закладные детали. Принципиальная схема армирования монолитной цилиндрической оболочки показана на рис. 3.34, ж. В неразрезных многопролетных оболочках кроме растянутой



арматуры в пролете ставится арматура в верхней части оболочки для восприятия растягивающих напряжений над опорой (диафрагмой).

Как уже указывалось, железобетонные оболочки, подобно другим железобетонным конструкциям, в начальной стадии нагружения работают упруго, после образования трещин в бетоне растянутой зоны в них развиваются пластические деформации и с увеличением нагрузки происходит разрушение. В соответствии с этим статический расчет оболочек производится по упругой стадии и по стадии предельного равновесия (т.е. по стадии разрушения).

### 3.14 Короткие цилиндрические оболочки

Короткие цилиндрические оболочки бывают монолитными и сборными. Наиболее часто применяют оболочки с шагом диафрагм 6–12 м при отношении

$l_1/l_2 = 0,5$  и стреле подъема  $\geq (1/7) l_2$ . Такие оболочки рассчитывают упрощенным методом, выполняя отдельно расчет плиты, бортового элемента и диафрагмы.

Толщину плиты монолитной оболочки (см. рис. 3.33, з), нагруженной собственной массой, массой кровли и снега, принимают по производственным соображениям без расчета равной 5 см при  $l_1 = 6$  м, 7–9 см при  $l_1 = 12$  м. Плиту армируют конструктивной сеткой из стержней 5–6 мм с шагом 10...15 см. Бортовой элемент назначают высотой  $h_1 = (1/10 - 1/15) l_1$  шириной  $b_1 = (1/5 - 2/5) h_1$ . При расчете принимают, что бортовые элементы являются частью оболочки и работают совместно с ней. Оболочку рассчитывают как балку криволинейного сечения пролетом  $l_1$  шириной  $l_2$ , опирающуюся на диафрагмы.

Продольную арматуру бортовых элементов объединяют в сварные каркасы, поперечные стержни которых ставятся конструктивно. Вблизи бортовых элементов оболочку армируют дополнительными сетками, а над диафрагмой также ставят дополнительную сетку, которую заводят на длину  $0,1l_1$  в каждую сторону от диафрагмы. Как и в длинных оболочках, малая толщина сводчатой плиты обуславливает передачу на диафрагмы нагрузок, действующих на плиту, главным образом, за счет сил  $S$ , направленных по касательной к срединной поверхности оболочки. Расчет диафрагмы в этом случае производят с учетом взаимодействия с плитой оболочки. Для средней диафрагмы в многопролетных оболочках в расчет вводится плита оболочки шириной, равной шагу диафрагм, для крайних диафрагм – шириной  $l_1/2$ . Сборные короткие оболочки состоят из плоских ребристых плит и диафрагм в виде ферм (см. рисунок 3.34, и), балок, арок. Совместная их работа обеспечивается устройством бетонных шипов на верхнем поясе диафрагм, пазов на наружных гранях продольных и торцовых ребер плит, установкой арматурных каркасов в швах замоноличивания. Короткая оболочка характеризуется преобладанием «арочной» работы над «балочной».

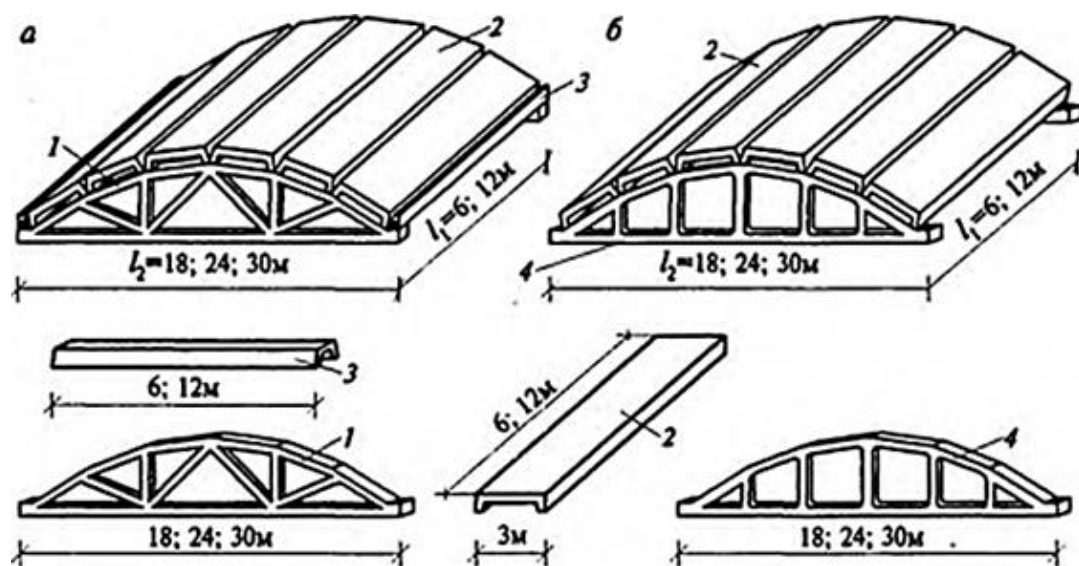
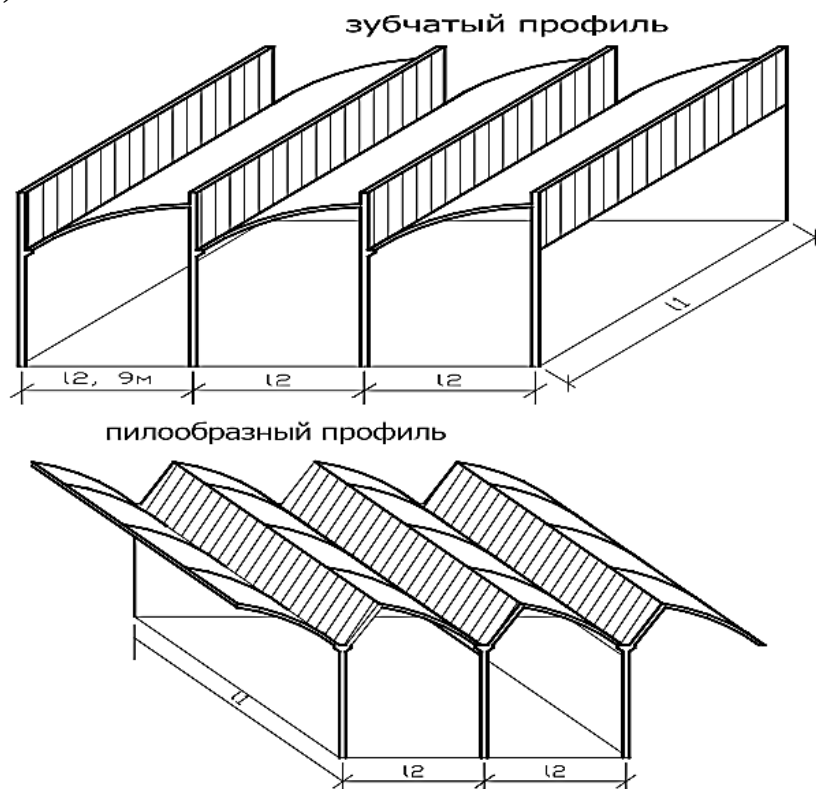


Рисунок 3.35.— Короткие цилиндрические оболочки (призматические складки):  
 а – с бортовыми элементами; б – без бортовых элементов; 1– ферма-диафрагма;  
 2 – плита; 3 – бортовой элемент; 4 – безраскосная ферма-диафрагма

### 3.15 Шедовые конструкции

Из цилиндрических, располагая их наклонно, создаются «шедовые» покрытия, которые могут иметь зубчатые или пилообразные профили, пролёт до 48 м при длине волны 12 м (рисунок 3.36).



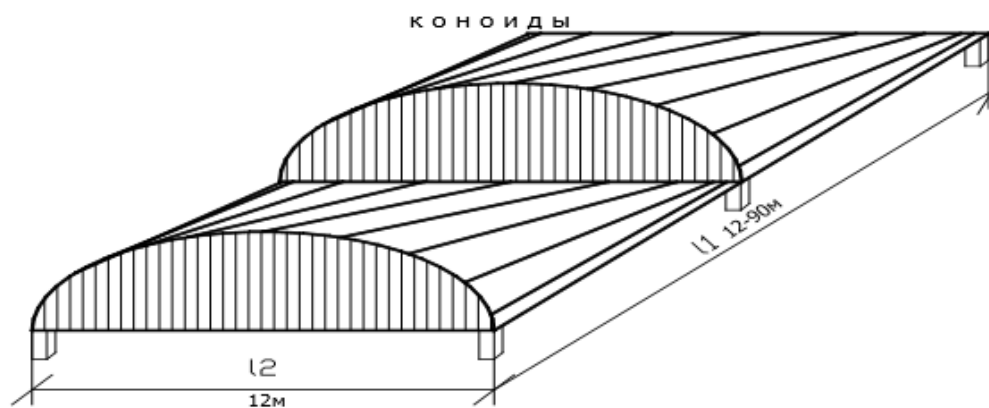
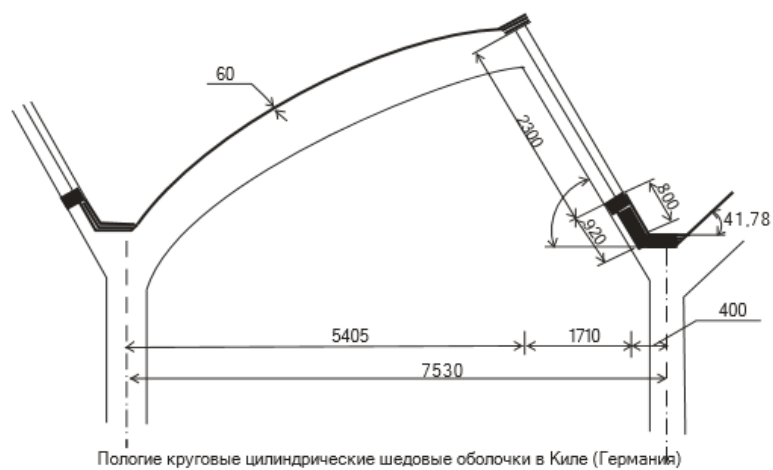


Рисунок 3.36. – Шедовые покрытия



Полгие круговые цилиндрические шедовые оболочки в Киле (Германия)

$l_1$  – пролёт до 48 м при длине волны  $l_2 = 12$  м.

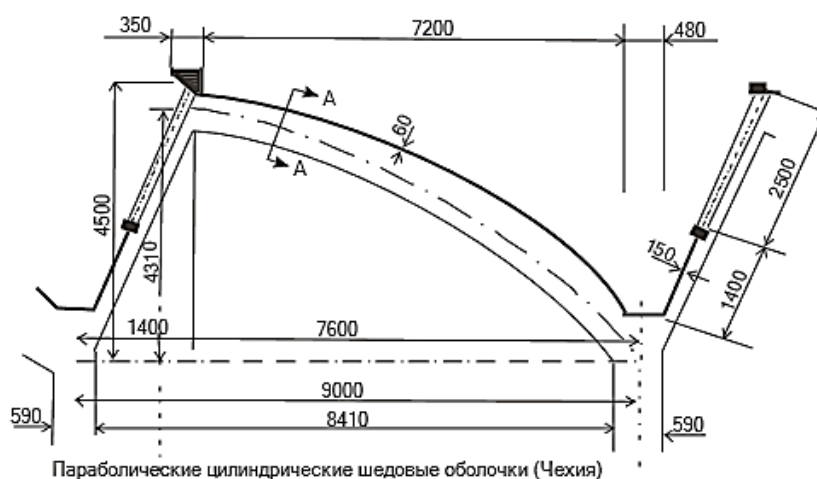


Рисунок 3.37.– Виды шедовых оболочек

### 3.16 Складки

**Складчатое покрытие** представляет собой систему, образованную из наклонных к горизонту (обычно не менее  $30^\circ$ ) плоских элементов – граней, верхние и нижние кромки которых соединены по шинным сторонам и работают совместно. Форма поперечного сечения складок может быть треугольной, трапециевидной, полигональной (Рисунок 3.38;3.39;3.40).

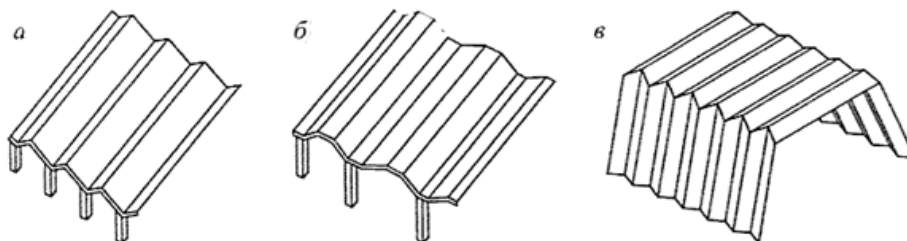


Рисунок 3.38.– Разновидности складчатых конструкций:

а, б - складчатые покрытия с плоскими гранями;

в – здание со складчатой структурой покрытия и стен

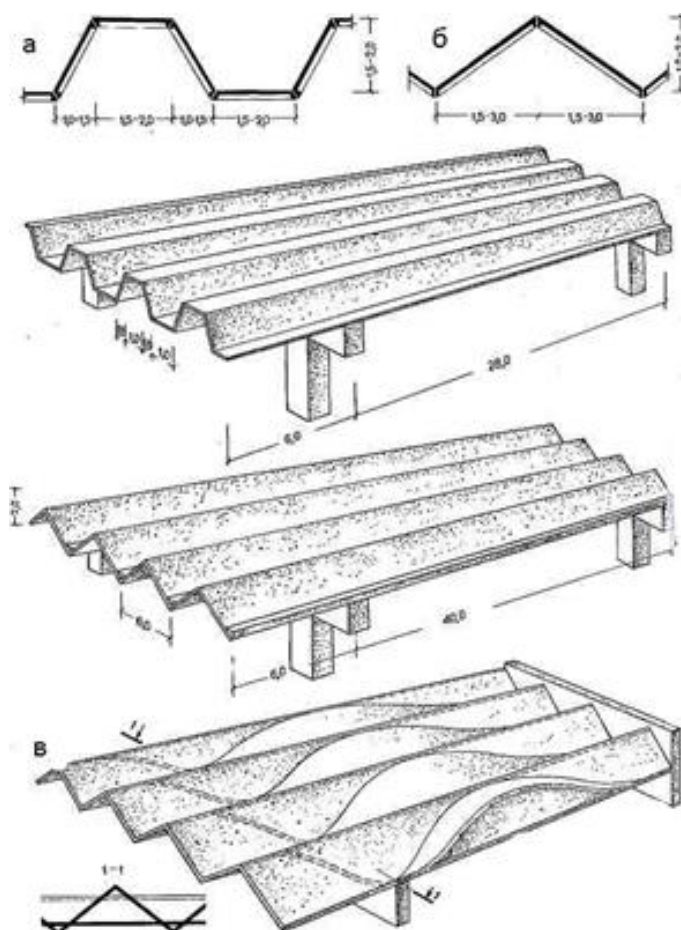


Рисунок 3.39.– Железобетонные складчатые покрытия:

а – трапециевидная складка; б – треугольная складка;

в – усложненная треугольная складка

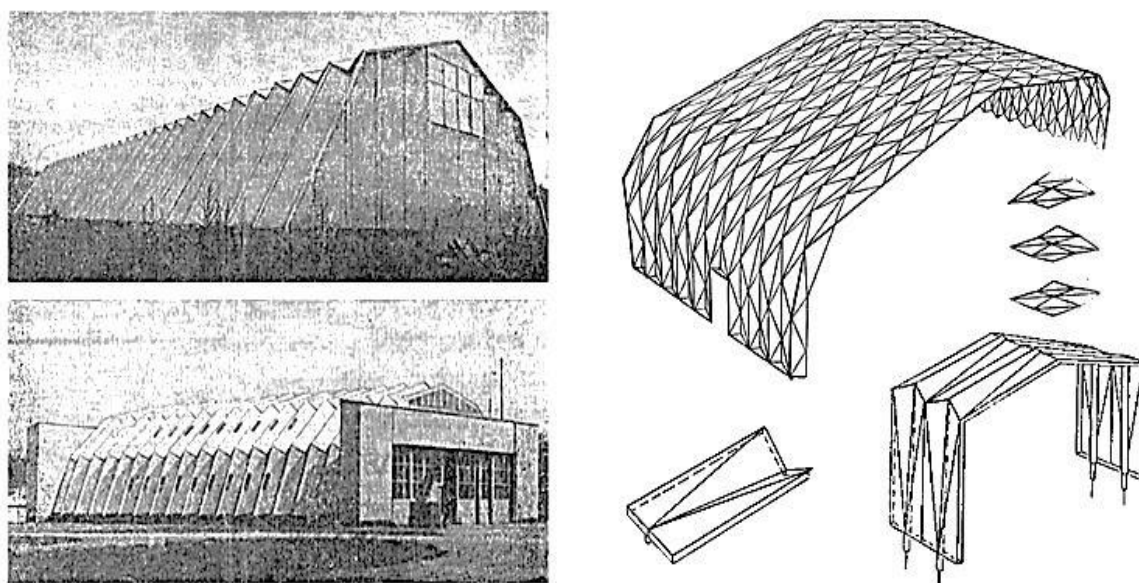


Рисунок 3.40.—Первый патент на складчатое покрытие был выдан в 1937 г.

### 3.17 Конические оболочки

Коноидальной называется оболочка, срединная поверхность которой представляет коноид, т. е. поверхность (рисунок 3.41), образованную при переносе прямой линии, скользящей по двум направляющим; перемещаемая прямая  $FH$  (образующая) остается при переносе параллельной заданной плоскости – так называемой направляющей плоскости. Одна из направляющих – прямая  $AB$ , вторая – плоская кривая  $CDE$ , плоскость которой параллельна прямолинейной направляющей  $AB$ , как прямолинейная направляющая  $AB$ , так и плоскость криволинейной направляющей  $CDE$  перпендикулярны направляющей плоскости. В качестве криволинейной направляющей может быть принята квадратная парабола, дуга окружности, цепная линия и др.

Коноидальная оболочка перекрывает прямоугольный план размерами  $l \cdot 2b$  и окаймлена двумя прямолинейными бортовыми ребрами длиной  $l$  идущими вдоль бортовых образующих  $IC$  и  $KE$ , и двумя криволинейными ребрами – лобовым  $CDE$  и задним  $IJK$ , входящими в состав вертикальных или наклонных диафрагм и пред составляющими арки или пояса решетчатых ферм. Поле лобовой диафрагмы  $CDE$  может быть застеклено. Пролет оболочки  $I$  меньше расстояния  $L$  между направляющими  $AB$  и  $CDE$ . Диафрагмы  $CDE$  и  $IJK$  имеют одинаковую хорду, но разные стрелки. В угловых точках  $C, E, I, K$  оболочка опирается на стойки.

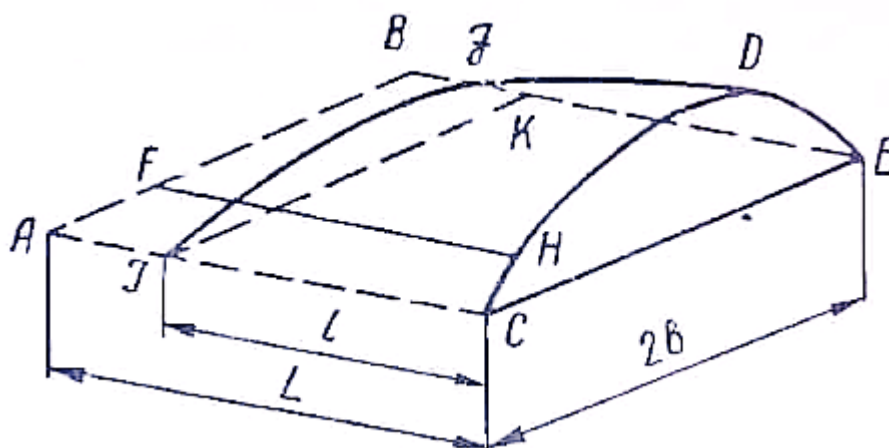


Рисунок 3.41. – Коноидальные оболочки

Обычно в промышленных цехах покрытия из коноидальных оболочек применяются в виде многопролетных конструкций шедового типа (рис. 3.42), где отдельные коноидальные оболочки располагаются одна за другой вдоль длины цеха, а лобовая и задняя диафрагмы двух смежных оболочек совмещаются в одну плоскость.

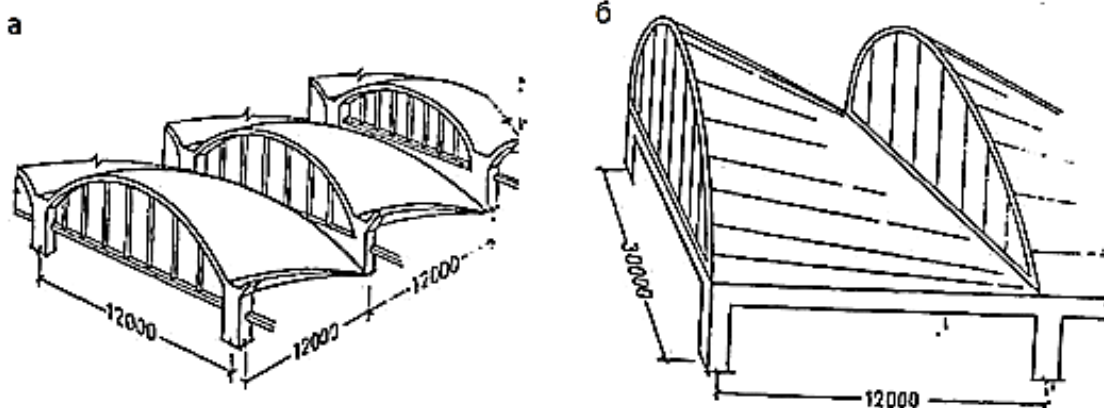


Рисунок 3.42. – Шедовые коноидальные оболочки

Покрытия из коноидальных оболочек свойственны многие положительные качества. С поверхности таких покрытий хорошо отводятся атмосферные воды. При наличии остекления диафрагм достигается хорошее освещение перекрываемого цеха. Линеичатость оболочки позволяет выполнять опалубку из прямолинейных досок. В шедовых покрытиях коноидальные оболочки экономичнее цилиндрических и эллипсоидных оболочек.

Одним из существенных недостатков коноидальных оболочек является трудность членения их на сборные элементы. Однако при умеренных размерах перекрываемой площади оболочка может быть собрана из двух зеркально симметричных сборных элементов, каждый из которых перекрывает площадь  $1b$ , а шов замоноличивания устраивается по образующей наибольшего ската. При значительной величине ширины оболочки  $2b$  целесообразно рассечение на четное количество сборных элементов вертикальными плоскостями, параллельными сторонам  $l$ .

### 3.18 Оболочки отрицательной гауссовой кривизны на прямоугольном плане

Возможность применения покрытий с поверхностью отрицательной гауссовой кривизны (гипара, однополостного гиперboloида), вращения (внутренней части тора) привлекает строителей (рисунок 3.44, Б). Оболочки отрицательной гауссовой кривизны представляют возможность повышения устойчивости, обеспечения хороших акустических качеств за счет рассеяния отраженных звуковых волн, уменьшения строительного объема зданий по сравнению с покрытиями положительной кривизны при одинаковой стреле подъема, а также усиления архитектурной выразительности. Из числа упомянутых поверхностей до последнего времени наиболее широко используют в строительстве поверхность гиперболического параболоида.

В монолитном строительстве наиболее широко применяют фрагмент поверхности гипара (лепесток), проектируемый на горизонтальную плоскость квадратом (ромбом, параллелограммом). Используют единичный лепесток или комбинации прямолинейно ограниченных лепестков в покрытиях шатровой, зонтичной или куполообразной формы. Конструкция оболочки в виде однолепесткового гипара – распорная. Распор воспринимают затяжками или передают на фундамент через наклонные опоры.

В комбинированных покрытиях удается полностью или частично уравновесить усилия распора в составляющих покрытие оболочках и передать на опоры только вертикальные нагрузки.

Одиночные лепестки применяют для покрытий пролетом 18–70 м. Стрелу подъема назначают  $(1/6–1/8)L$  а толщину оболочки  $–(1/400–1/600)L$ . При пролете лепестка свыше 30 м края железобетонного гипара усиливают контурным ребром.

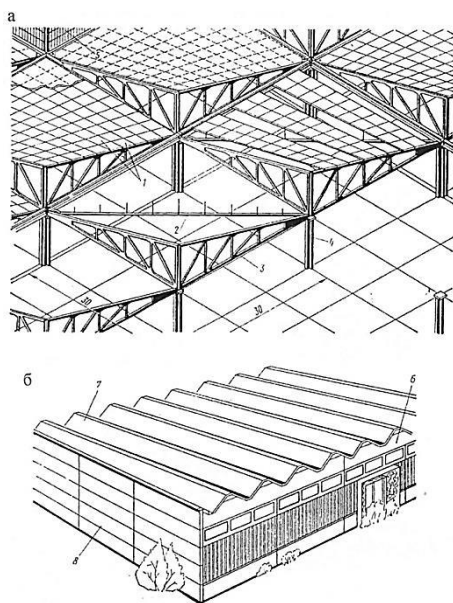


Рисунок 3.43. – Железобетонные оболочки покрытий типа гипар (гиперболический параболоид):

- а и б складка: 1 – плита; 2 – затяжка;  
3 – ферма; 4 – колонны; 5 – остекление;  
6 – обвязочная балка; 7 – сборная складка;  
8 – стеновая панель

При больших пролетах (50–70 м) подвеска краевого элемента к оболочке нецелесообразна, так как вызывает ее поперечный изгиб. В этих случаях крайевой элемент опирают на самостоятельные опоры, которые следует совмещать с наружными ограждающими конструкциями, как это выполнено, например, в покрытии спортивного зала в Сидзуоке (рисунок 3.44, В).

Применительно к требованиям сборного строительства поверхность гипара недостаточно целесообразна, так как при ее разрезке образуется избыток типоразмеров сборных элементов. В связи с этим в сборном и сборно-монолитном строительстве прибегают к



покрытиям отрицательной кривизны с поверхностью однополостного гиперболоида вращения или внутренней части тора.

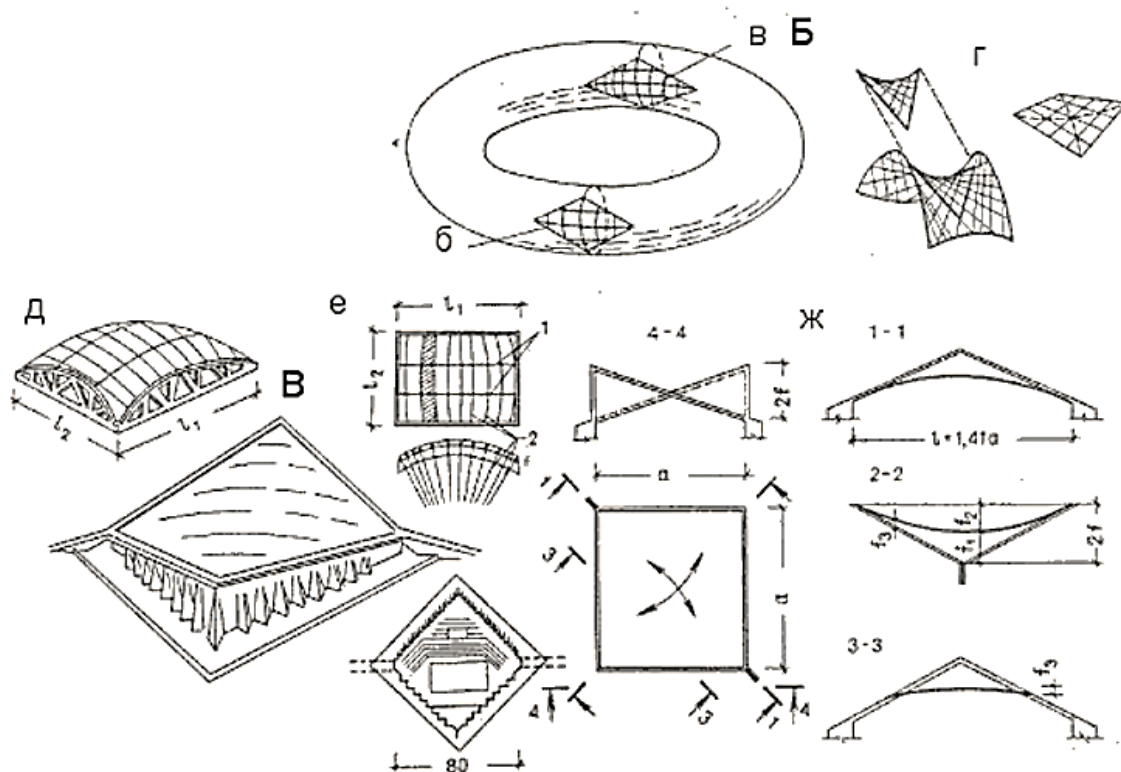


Рисунок 3.44 –Б –отрицательной:

б, в – поверхности тора положительной и отрицательной кривизны; г – поверхность гипара; д – схема разрезки поверхности двоякой кривизны на элементы цилиндрической формы; е – то же, по поверхности тора: 1 – радиальные секущие плоскости; 2 – то же, вертикальные; ж – параметры однолепесткового гипара; В – общий вид и план спортивного зала в Сидзуока (Япония) с покрытием одним «лепестком» гипара

### 3.20 Жесткие оболочки двоякой кривизны

Из этой группы оболочек в покрытиях общественных зданий применяют своды (волнистые, складчатые, бочарные), купола, пологие оболочки положительной гауссовой кривизны. Все эти конструкции распорные. При этом только своды и купола имеют многовековую историю, остальные созданы в XX веке. Волнистые, складчатые и бочарные своды используют для покрытий прямоугольных в плане помещений. Эти конструкции представляют собой современную интерпретацию классических каменных сводов. С переходом к железобетону, армоцементу, металлу, материалам, прочность которых существенно выше, чем у каменной кладки, стало возможным значительно увеличить величины перекрываемых пролетов при тонкостенной несущей конструкции. Однако при больших пролетах и нагрузках в работающей на сжатие тонкостенной конструкции свода возможна местная потеря устойчивости. Для повышения устойчивости своду придают специальную профилировку (волнистую, складчатую) в направлении, перпендикулярном пролету. Волнистый свод имеет аналогичные аркам условия статической работы и одинаковые расчетно-конструктивные схемы - двух-трехшарнирную или бесшарнирную. Стрела подъема свода  $1/6-1/10$  пролета, ширина отдельной волны 3–12 м. Распор сводов



воспринимают фундаменты, затяжки, контрфорсы, несущие конструкции смежных помещений. Разработаны типовые конструкции сборно–монолитных волнистых и складчатых сводов для пролетов 18–36 м. В уникальных зданиях сборно–монолитные своды применены для пролетов от 75 до 95 м. Сборные конструкции волнистых сводов монтируют из отдельных плоских или криволинейных плит размером 3×6 м укрупненной сборкой на месте строительства в полу свода. Сборные волны–оболочки соединяют друг с другом сваркой по закладным деталям или арматурным выпускам и замоноличиванием швов. Передача нагрузки от сборного волнистого свода на опорные конструкции осуществляется через специальные опорные балки. Балки устраивают сплошного сечения при пролетах до 24 м, коробчатого – при больших пролетах. Деформационные швы по длине свода устраивают через 40–50 м и заполняют их упругими прокладками. Примыкающие к шву волны усиливают поперечными диафрагмами, а край волны – продольным ребром.

Поверхности двоякой кривизны могут быть образованы способом вращения плоской кривой (образующей) вокруг оси, находящейся вместе с ней в одной плоскости, или способом переноса, т. е. поступательным перемещением плоской образующей по параллельным направляющим.

Криволинейная поверхность может быть положительной (рисунок 3.45, а, б) или отрицательной кривизны (рисунок 3.45, в).

*Железобетонные прямоугольные в плане проектирование с оболочками положительной кривизны по расходу материалов экономичнее цилиндрических оболочек на 25–30 %. Для них допускается еще более резкое размещение опор, благодаря чему создаются исключительно благоприятные условия для эксплуатации многих помещений производственного и общественного назначения.*

Конструкция такого покрытия состоит из тонкостенной плиты, изогнутой в двух направлениях, и диафрагм, располагаемых по контуру и связанных с ней монолитно. Покрытие в целом опирается по углам на колонны, но возможно и опирание оболочки по всему контуру.

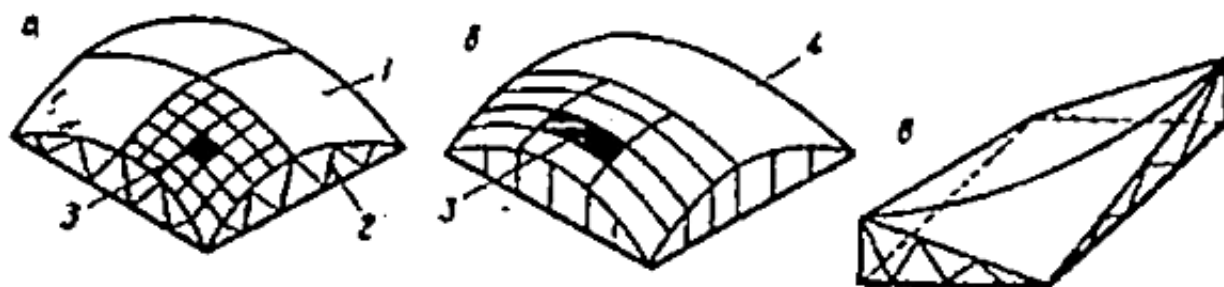


Рисунок 3.45.— Оболочки двойной кривизны:

а, б –положительной кривизны; в – отрицательной кривизны; 1 –поверхность переноса; 2–диафрагма;3 –сборный плоский элемент оболочки;4 - сферическая поверхность

В отечественной практике сборные покрытия с пологими оболочками положительной кривизны выполнялись по различным конструктивным схемам. В одной из них оболочку членили на панели с одинаковыми номинальными размерами в плане 3х3 м (рисунок 3.45, а). Панели делали плоскими, усиленными по контуру ребрами. В средней части оболочки панели имели квадратную форму, в периферийной – ромбовидную. Кроме контурных ребер панели имели диагональные ребра, в концах которых были предусмотрены выпуски стальной арматуры. Соединение плит оболочки между собой достигалось свар-

кой выпусков арматуры с последующим замоноличиванием швов. Необходимая связь скорлупы–оболочки с контурными фермами осуществлялась сваркой арматуры, выпущенной из верхних поясов ферм, с арматурой, выпущенной из ребер крайних и угловых панелей, и замоноличиванием стыков бетоном.

К недостаткам такой конструкции относятся: сравнительно мелкие размеры сборных элементов, дорогой и трудоемкий монтаж на сложных кондукторах, большое число швов и сварных соединений. В другой конструктивной схеме

(рисунок 3.45, б) сферическую оболочку расчленяют на цилиндрические панели с номинальными размерами в поверхности оболочки 3х12 м. Здесь нет недостатков, присущих предыдущей схеме, однако, цилиндрические панели сложны при изготовлении и транспортировании. Возможны и другие конструктивные схемы.

### **3.21 Пространственные конструкции монолитных зданий типа «Сотовый монолит»**

Железобетон – основной строительный материал – применяется в двух основных видах: сборный и монолитный.

*Сборное домостроение, по сравнению с монолитным, имеет ряд достоинств, основные из которых – перенос мокрых процессов формования и твердения бетона в помещение и уменьшение величины трудозатрат на стройке.*

Однако строительство из сборного железобетона требует огромных затрат на создание его базы, увеличивает транспортные расходы, а также увеличивает инертность Строительного комплекса.

По экономичности и эффективности сборный железобетон значительно проигрывает монолиту, так как здание из сборного железобетона заранее как бы разрезается на отдельные элементы, которые на строительстве полноценно не объединяются, что резко снижает экономичность конструкции.

С 70–х годов в Советском Союзе эти основные препятствия постепенно начали исчезать. Стало внедряться монолитное домостроение на новом уровне, появились индустриальные системы опалубок и различные методы монолитного строительства.

Монолитный бетон на новом качественном уровне активно внедряется в России и в настоящее время успешно конкурирует со сборным железобетоном.

Кроме перечисленных выше достоинств монолитный железобетон обладает одной потенциальной возможностью - превращать все здание в единый, монолитный сотовый блок. Такой сотовый блок может быть положен на редко расположенные опоры, может перешагнуть через дорогу, овраг или другой дом, не требуя при этом дополнительных опорных балок или ферм, всё здание снизу доверху работает как единая пространственная система, обеспечивая дому в целом пролёт в десятки метров.

К сожалению, в настоящее время монолитные здания отличаются от сборных только лишь пластикой форм, т.е. возможности монолита используются весьма не полно.

Система сотового монолита была предложена и реализована впервые в 1980 году при проектировании пансионата «Дружба» и еще в двух объектах незавершенного строительства в г. Ялте.

**Пансионат «Дружба»** (сдан в эксплуатацию в 1985 году) представляет собой три лестнично-лифтовые башни высотой 55 м и 40 м, на которые опираются все сооружения пансионата.

Снаружи опорные башни охватывает шестизэтажный «бублик» жилого корпуса наружным диаметром 76 метров, шириной около 12 метров. Ниже, между опорами, на их

консоли повешен круглый объем бассейна диаметром 24 м с днищем в виде конической оболочки. Над пятым жилым этажом на этих же опорах закреплены консольные, круглые пространственные объемы столовой с техническим этажом. В пределах высоты и жилой части размещены кольцевые объемы общественной части, опирающейся на те же опорные башни. Собственно «сотовой» конструкцией стал «бублик» жилой части.

Конструктивная структура этой части состоит из трех систем ортогональных дисков: кольцевых горизонтальных дисков перекрытий диаметром 76 м, шириной 12 м и толщиной 15 см; радиальных стен высотой 16,5 м, шириной 12 м и толщиной 15 см и двух кольцевых стен высотой 16,5 м толщиной 30 см в зоне санузлов.

Такой пространственный «сотовый бублик» высотой в шесть этажей, работая как единая система, опирается только на три точки.

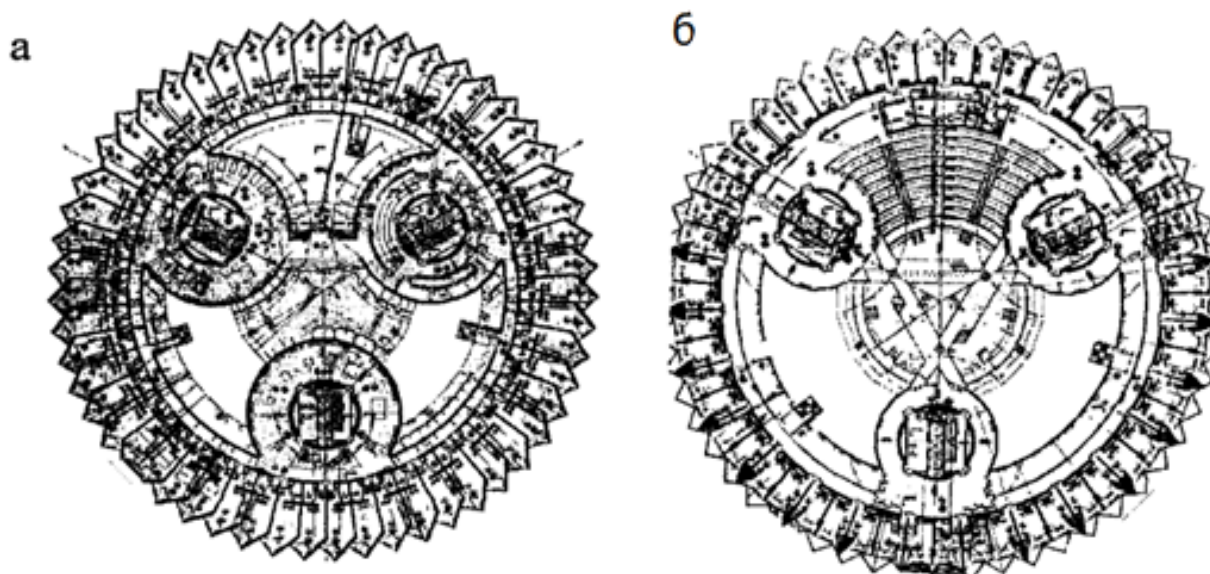


Рисунок 3.46. – а – План первого этажа; б – план третьего этаж

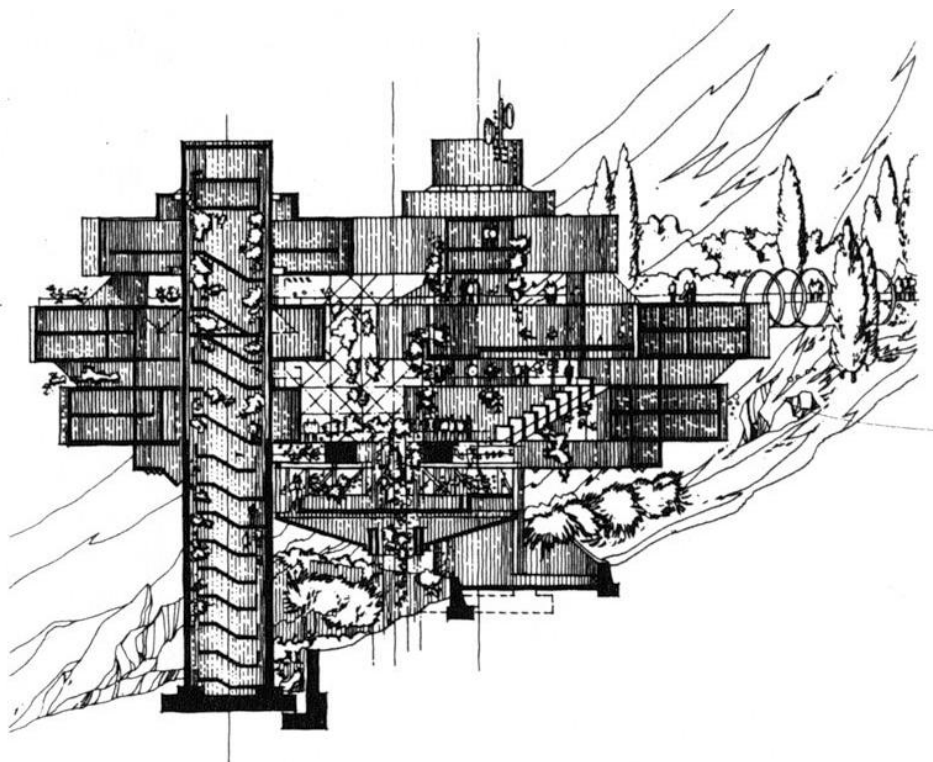


Рисунок 3.47. – Разрез пансионата «Дружба»

В отличие от традиционных объектов сооружение в системе «сотовый монолит» меняет в процессе строительства свою расчетную схему, вследствие чего традиционные расчеты законченного сооружения на все нагрузки в данном случае неприемлемы!

В подобных системах распределение внутренних усилий существенно зависит от порядка возведения.

Для жилой части пансионата «Дружба» был принят следующий порядок монтажа:

- после возведения опорных башен и временных опор бетонировался технический и первый жилой этажи;
- после схватывания бетона первого жилого этажа демонтировались временные опоры;
- при бетонировании второго жилого этажа вес свежееуложенного бетона воспринимался конструкциями технического и первого жилого этажей;
- далее на вес каждого бетонированного этажа работают нижние, уже возведенные, т.е. расчетная схема меняется в процессе строительства.

Для расчета конструкций в системе «сотового монолита» разработана компьютерная программа «Монтаж».

Санаторий Главмикробиопрома на 500 мест в г.Ялте (выполнено 80% несущих конструкций. В 1987 г. строительство остановлено) представляет собой сотовую конструкцию, состоящую из дисков перекрытий (толщиной 15 см) и ортогональной системы стен, так же толщиной 15 см. Благодаря пространственной работе всего сооружения здание нависает в углах почти на 20 метров и имеет в центре атриум 40х40 метров, над которым расположены лечебные помещения и бассейн.

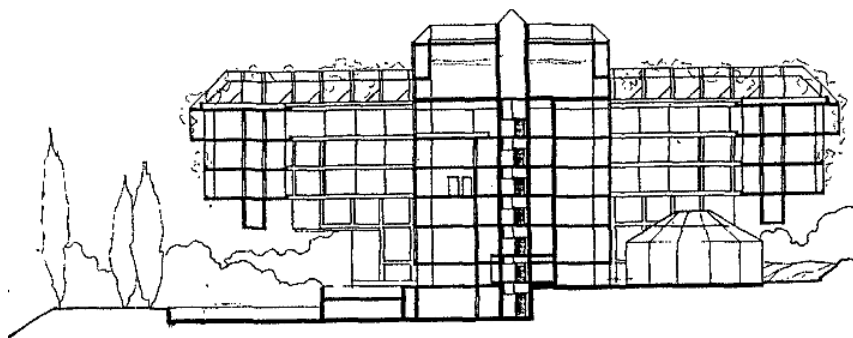


Рисунок 3.48. – Разрез

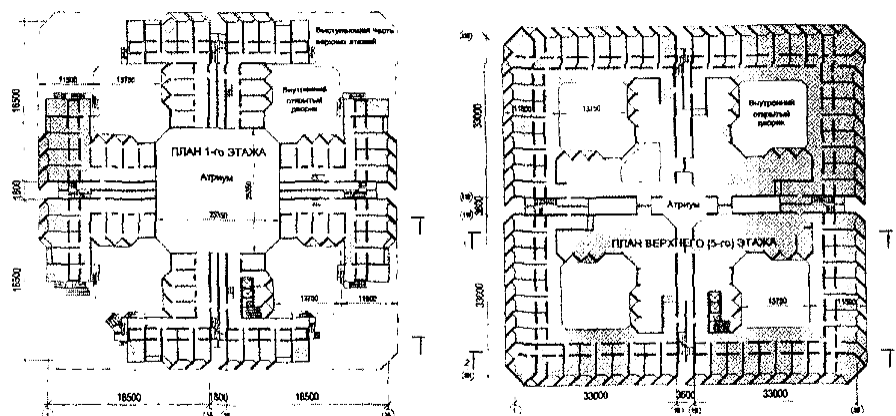


Рисунок 3.49. – План первого и пятого этажа.

Спальный корпус санатория «Украина» (выполнено 80% несущей конструкции. В 1992 г. Строительство остановлено), представляет собой 3-х этажный корпус, синусоидальный в плане, с односторонним расположением номеров.

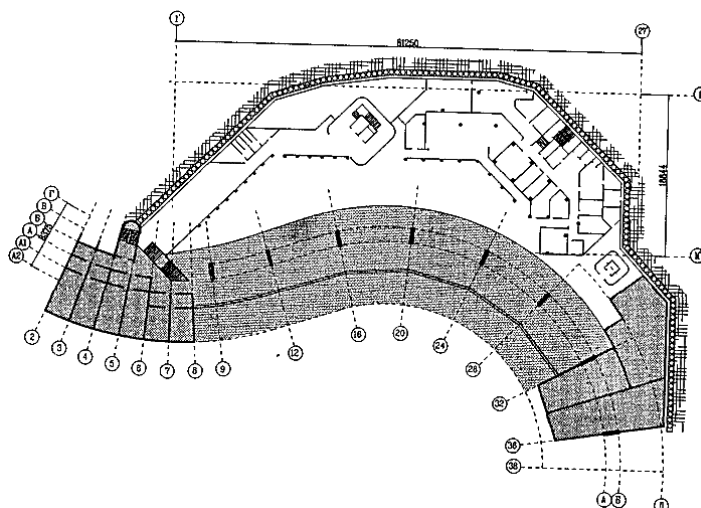


Рисунок 3.50. – План первого этажа

Корпус расположен на склоне горы и имеет наклон в сторону горы. Благодаря конструктивной системе «сотовый монолит» корпус удалось без увеличения сечений элементов конструкций опереть на редкое расположение опоры.

Внешняя несущая оболочка «Шара» (Общественно-деловой, гостиничный и культурный центр) (возможно, эллипсоид вращения, диаметром 80 или более метров) – сотовая железобетонная структура, состоящая из вертикальных (меридиональных) стен, дисков перекрытий и кольцевых стен. Все элементы этой ортогональной системы имеют толщину около 15 см. Несущий полый сотовый шар опирается на три лестнично-лифтовые башни, пронизывающие сооружение.

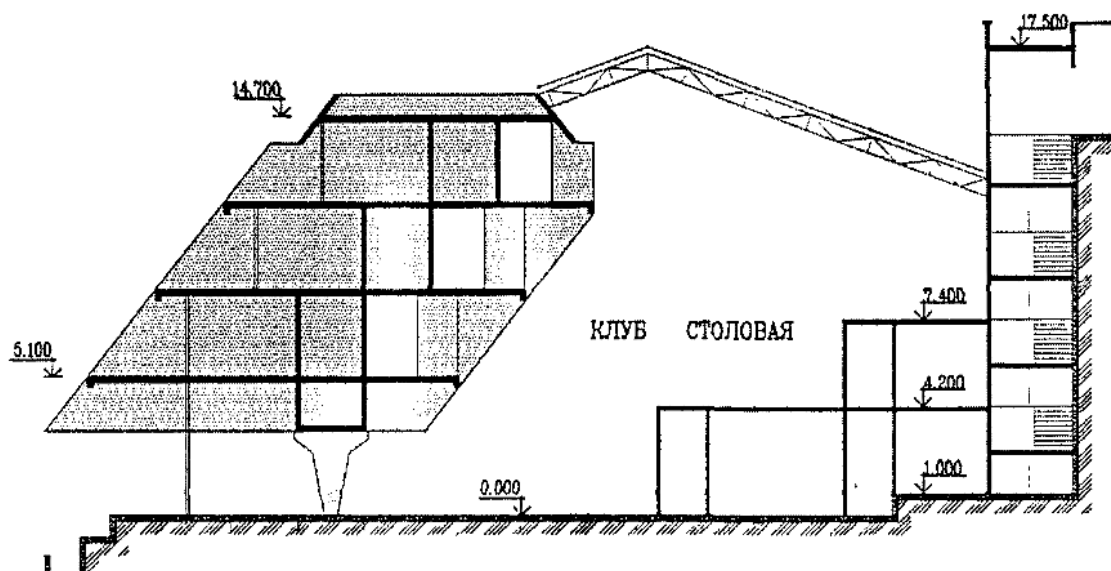


Рисунок 3.51.— Разрез

Во внутреннем пространстве объекта расположены «грибообразные» объемы, опирающиеся на стволы лестнично-лифтовых шахт. В них могут располагаться кафе, казино, тренажерные залы и т.д. В сотовой оболочке гостинично-делового комплекса «Шар» предусматриваются гостиничные номера, офисные помещения, небольшие (до 50 м<sup>2</sup>) конференц-залы, игровые комнаты, кафе. Самый верх занимает ресторан со стеклянной крышей, откуда открываются виды на Москву. В нижней части атриума планируется мини-аквапарк. Под зданием находится паркинг, стилобатной части вестибюль.

Реконструкция пятиэтажных жилых домов по ул.Коштова в г. Москве. Предложенное конструктивное решение реконструкции с надстройкой пятиэтажных жилых зданий преследовало цель осуществить надстройку без передачи дополнительных нагрузок на существующую конструкцию здания.

Задача была выполнена с применением идеи «сотового монолита». К зданию в зоне лестниц, с обеих сторон, пристраиваются монолитные железобетонные объемы, позволяющие разместить в здании лифты и увеличить площади кухни и комнат. Эти объемы, опирающиеся на буровые фундаменты, служат опорами для монолитной сотовой конструкции пятиэтажной надстройки, высотой в несколько этажей.

Идея «сотового монолита» позволила выполнить перекрытия надстройки толщиной 18 см, несмотря на отсутствие опор над существующим зданием.

### 3.22 Пространственные конструкции малых архитектурных форм

В архитектуре значительный интерес представляют пространственные конструкции для малых форм: навесов, козырьков лестниц и т.д.

Навесы и козырьки могут выполняться в виде всевозможных типов оболочек: куполов, воронок, висячих систем, гиперболических параболоидов и других.

На рисунок 3.52.а показана стадия строительства и на рис. 3.52.б завершённое состояние двухконсольного гиперболического параболоида на крыше производственного корпуса, построенного в Москве на шоссе Энтузиастов в 1963 году. Размеры надстроек 15х9,3 м, толщина оболочки 6 см.

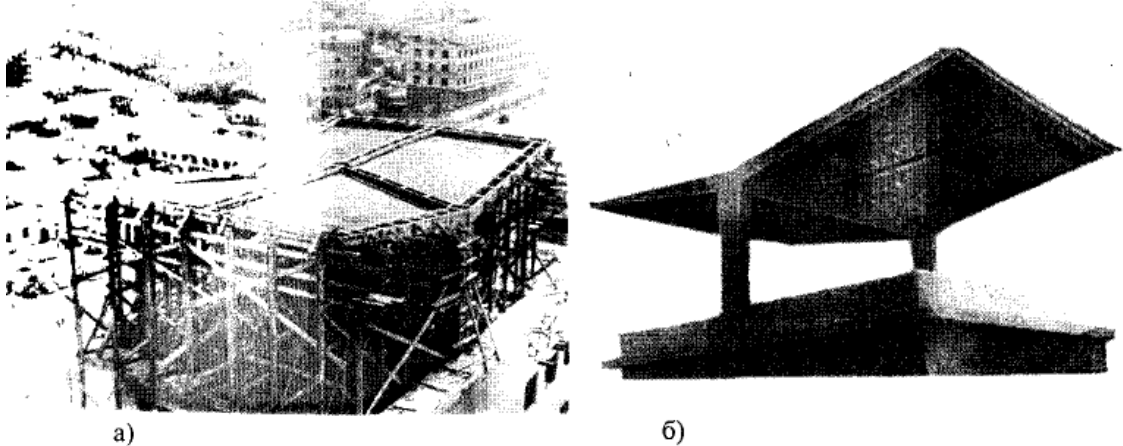


Рисунок 3.52. – Двухконсольный гиперболический параболоид:  
а) стадия возведения; б) завершение

Самостоятельным классом пространственных конструкций малых форм являются винтовые лестницы. Винтовая лестница может рассматриваться как вертикально поставленная пружина.

Пружины могут быть трех основных типов: из винтового стержня, из вертикальной винтовой пластины (как бы навитой на барабан) и винтового пандуса. Винтовой стержень в такой лестнице работает на все виды усилий: растяжение, сжатие, изгиб в вертикальной плоскости и кручение.

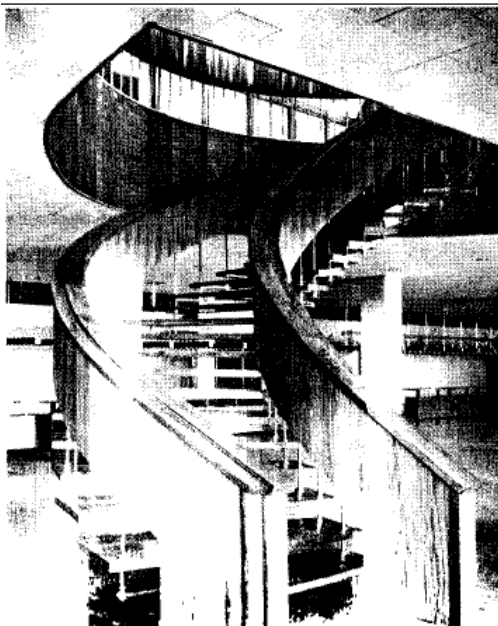


Рисунок 3.53 – Лестница с несущими винтовыми перилами в Ледовом дворце г. Тольятти



Вертикальная пластина имеет основную жесткость в вертикальной плоскости, которая и обеспечивает прочность лестницы. Поскольку винтовая пластина лежит на разворачивающейся (изменяемой) поверхности, то пространственная жесткость её невелика, таким образом, пластина должна иметь достаточную толщину.

Лестницы с применением вертикальных винтовых пластин могут представлять собой винтовые перила сечением около 80 см (h) на 20 см с подвешенными к ним пластинами проступей. Пример такой лестницы в Ледовом дворце спорта в г. Тольятти (рис.49).

Винтовой пандус представляет собой винтовую поверхность, не разворачиваемую в плоскость. Несмотря на то, что винтовая поверхность мгновенно изменяемая, при должном её закреплении такая лестница обладает значительной жесткостью, которая обеспечивается не её толщиной, а шириной. Обычно геометрические параметры винтовой лестницы такого типа: внутренний радиус  $1 \div 1,5$  м; ширина около 2 м, толщина 15 см (без ступеней).

Поскольку при действии вертикальной нагрузки происходит изменение кривизны винтового пандуса в плане, а его жесткость в этом направлении (ширина пандуса равна 200 см) весьма велика, то и вертикальные перемещения весьма незначительны. Таким образом, и жесткость, и прочность таких лестниц обеспечиваются шириной пандуса, а не толщиной, которая по конструктивным соображениям принимается обычно около 15 см.

Важнейшим элементом при проектировании винтовых лестниц такого типа является примыкание к опорам, где возникает обычный для оболочек краевой эффект в виде быстро затухающего изгибающего момента в вертикальной плоскости. Эпюра кольцевых усилий винтового пандуса дана на рисунке 78.

Для восприятия изгибающего момента краевого эффекта необходимо выполнить нут на длину около 4–6 толщины плиты.

На рисунке 3.57 дана фотография винтовой лестницы в торговом центре у станции метро «Новослободская» в г. Москве. Несущая конструкция лестницы – винтовой пандус внешним диаметром 8 метров, шириной 2 метра. Длина развертки внешней кромки лестницы 2400 см при толщине 15 см.

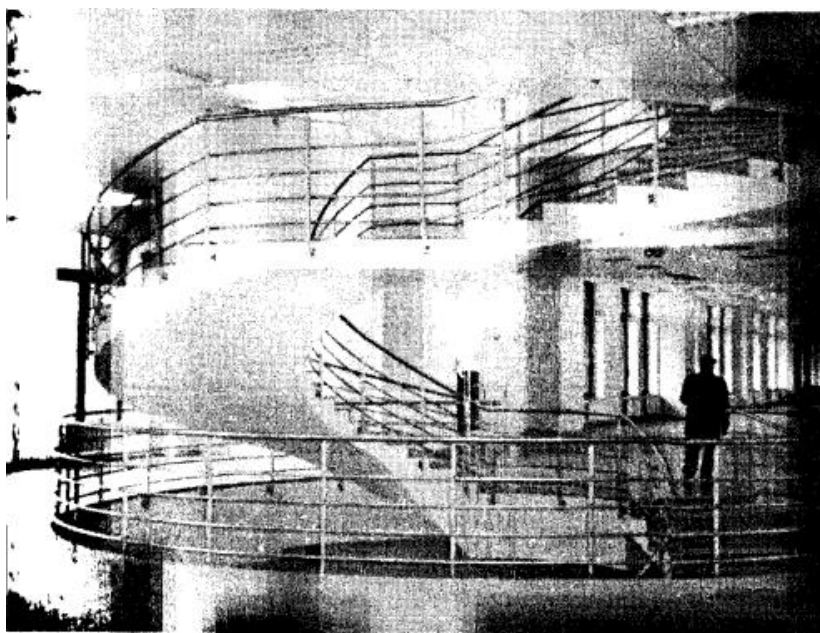


Рисунок 3.54.—  
Винтовая лестница в  
торговом центре у станции  
метро  
«Новослободская» в  
г. Москве.



Нарисунке 3.50 даны конструктивная схема и фото парадной лестницы в атриуме Старого Гостиного двора в г. Москве. Лестница соответствует архитектурным требованиям памятника архитектуры и представляет собой сложную пространственную систему.

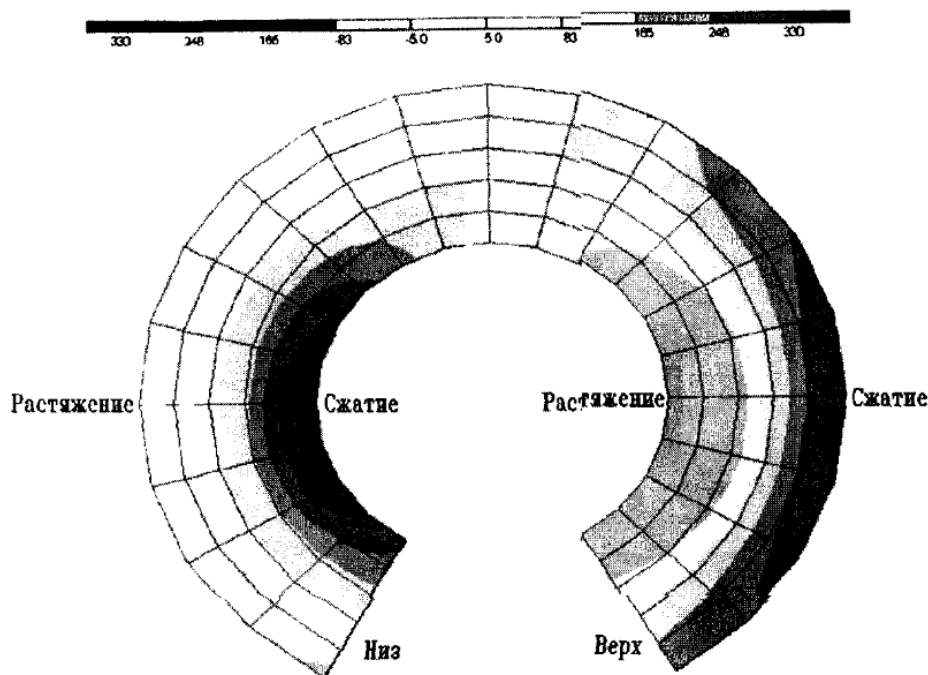


Рисунок 3.55. – Схема кольцевых напряжений винтовой лестницы у станции метро «Новосвободная» в г. Москве

### 3.23 Мембранные оболочки

Со второй половины 20-го века в практике строительства широкое распространение получили мембранные оболочки. Мембранные покрытия, состоящие из тонкого металлического листа, закрепленного на контуре, являются одним из эффективных типов пространственных конструкций. Используя в качестве материала сталь толщиной всего 2–5 мм, ими можно перекрывать пролеты свыше 300 м. В тонколистовых оболочках наиболее полно используется несущая способность материала. Мембрана работает в основном на растяжение в двух направлениях, без опасности потери устойчивости. Цепные усилия с пролетной конструкции воспринимаются замкнутым опорным контуром, работающим совместно мембраной, которая, в большинстве случаев, обеспечивает его устойчивость. В этих системах в одном элементе (мембране) совмещаются одновременно несущие и ограждающие функции. Все это обеспечивает минимальный расход материалов на мембранные покрытия по сравнению не только с плоскостными, но и с известными мембранными системами.

Стрела провеса мембран составляет  $1/15$ – $1/20$  пролета, форма поверхности покрытия на круглом плане – параболоид вращения, на эллиптическом – эллиптический параболоид. Преимуществом мембранных покрытий перед покрытиями из стержней и тросов является совмещение мембранной оболочкой несущих и ограждающих функций.

Существенное облегчение собственного веса мембранных покрытий, относительная простота их монтажа, применение большеразмерных рулонных полотнищ заводского изготовления определяют снижение трудоемкости и стоимости их возведения, сокращение сроков строительства.

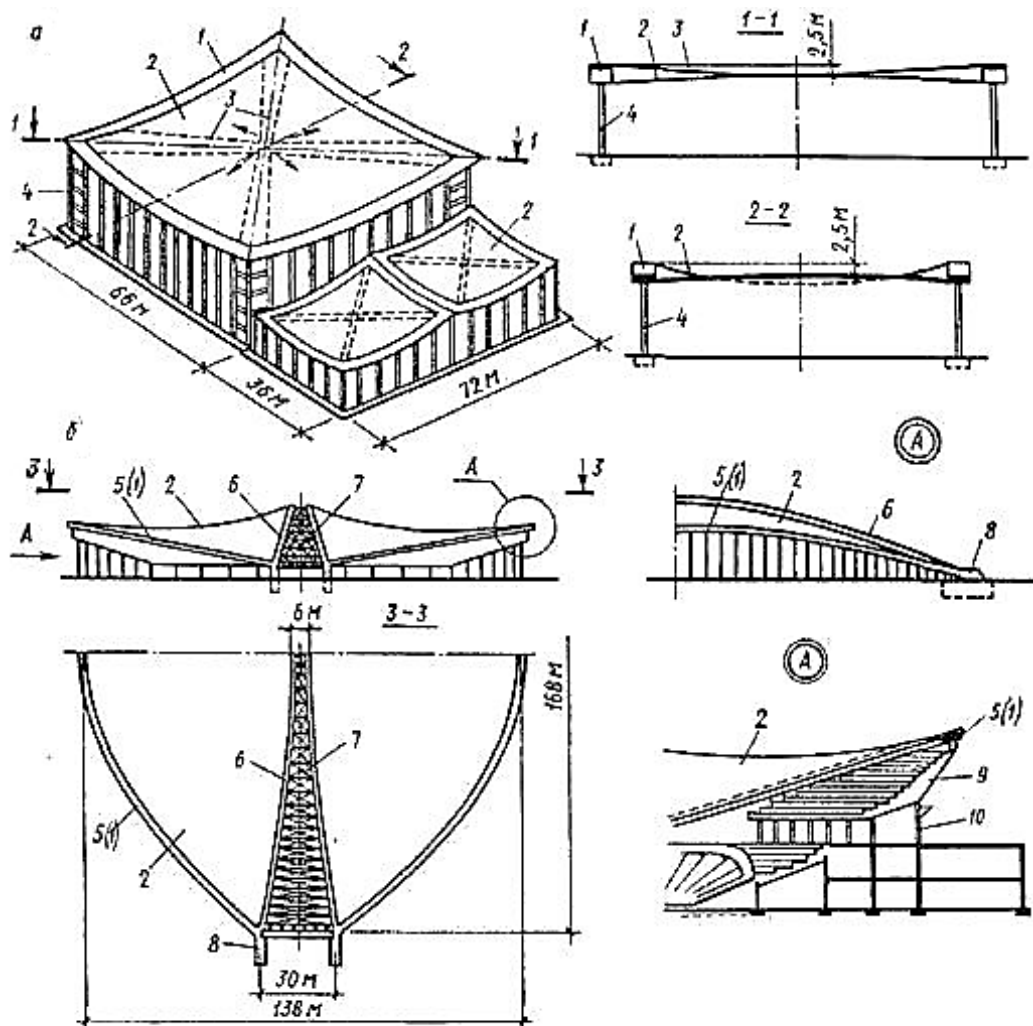


Рисунок 3.56.–Мембранные покрытия, деревянное висячее покрытие:

а– мембранное покрытие универсального спортзала в Москве.б– велотрек в Крылатском. в – деревянное висячее покрытие над спортзалом (Франция); 1 – опорный контур; 2– мембрана; 3 – усиление мембраны в Целях получения уклона кровли к периферии; 4 – стойки под опорным контуром; 5 – наклонная арка, опертая на колонны; 6– центральные металлические арки; 7 – связи между центральными арками; 8 – опоры арок; 9 – трибуны; 10– стойки под трибунами; 11– центральная арка на клееной древесине; 12– поперечные провисающие ребра; 13– опорный железобетонный контур; 14 – колонны, поддерживающие опорный контур; 15 – фундаменты под центральной аркой; 16– световые проемы между колоннами; 17 – трибуны; 18– деревянные опорные арки над железобетонным опорным контуром; 19– дощатое покрытие по поперечным провисающим ребрам; 20 – продольные ребра под дощатым покрытием.

Конструктивные решения, порядок монтажа и условия опирания для оболочек положительной и нулевой кривизны примерно одинаковы.

Недостатком оболочки положительной Гауссовой кривизны является сложность решения задачи удаления воды с кровли.

Этот вопрос может быть решен несколькими способами: устройством крыши ванны со сбросом воды насосом; общим наклоном оболочки для обеспечения естественного стока воды; водоотводом из центральной части оболочки самотеком по трубам.

Для раскатки листов мембраны на опорный контур обычно навешивается ортогональная сеть “постели”. Висячие листы “постели” (обычно листы  $\delta = 6$  мм,  $v = 500$ ) монтируются с провисом под собственным весом и закрепляются к опорному контуру.

Контроль геометрии висячих листов “постели” производится по отметкам их нижних точек. В ортогональном направлении могут монтироваться распорки, обычно из швеллера полками вниз.

Листы мембраны раскатываются после выверки и заварки всех элементов “постели”.

Сварка листов мембраны осуществляется после раскатки всех листов мембраны.

Возможный порядок монтажа оболочки:

- после монтажа опорных стоек монтируются элементы опорного контура;
- опорный контур заваривается и заполняется бетоном;
- на опорный контур навешиваются висячие элементы постели – и закрепляется к ним ортогональная система распорок;
- на выверенную и смонтированную ортогональную сетку постели раскатываются рулоны стального листа мембраны;
- после полной раскатки мембраны и выверки ее геометрии производится заварка мембранных листов между собой.

Нанряженно-деформируемое состояние мембранной оболочки весьма сложно и до недавнего времени достаточно точному расчету поддавались лишь системы на круглых и овальных планах.

Конструкция должна быть рассчитана по программам, реализующим геометрическую нелинейность на всех этапах возведения, с суммированием усилий и напряжений.

До заварки листов мембраны система работает как ортогональная вантовая система, после – как континуальная мембранная оболочка на все виды внешних воздействий, в том числе неравномерных и невертикальных.

Опоры оболочки не должны препятствовать ее деформациям, но вместе с тем закреплять ее в пространстве (статически определимое опирание). Наиболее простая система опор: система шарнирных стоек и тангенциальных связей в рисунке 3.57. и системы опор в виде V-образных стоек в рисунке 3.58. В таких связях не возникает усилий и при температурных воздействиях.

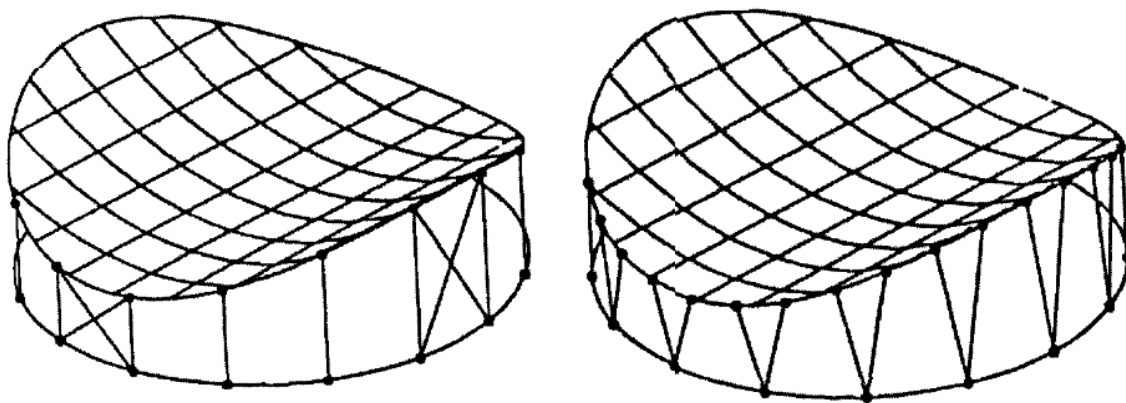


Рисунок 3.57. Рисунок 3.58.

Важным моментом в конструировании тонких и особо тонких оболочек является обеспечение их геометрической неизменяемости (кинематической жесткости), при неравномерных нагрузках – желательной жесткостью в своей плоскости.

В приложении к цилиндрическим оболочкам это может быть продемонстрировано на условных наглядных схемах ортогональной вантовой системы рисунке 3.59, и рисунке 3.60.

На рисунке 3.59. изображена дискретная ортогональная вантовая система, на рисунке 3.60. – та же система, с введенной в ее поверхность фермой, имитирующей работу мембраны в своей плоскости. Оболочка на рисунке 3.59. перекашивается при действии одно-сторонней нагрузки. Оболочка на рисунке 3.60. практически не перекашивается за счет работы фермы с передачей опорных реакций на контур оболочки. В приложении к мембранной оболочке вместо фермы работает на сдвиг преднапряженная мембрана.

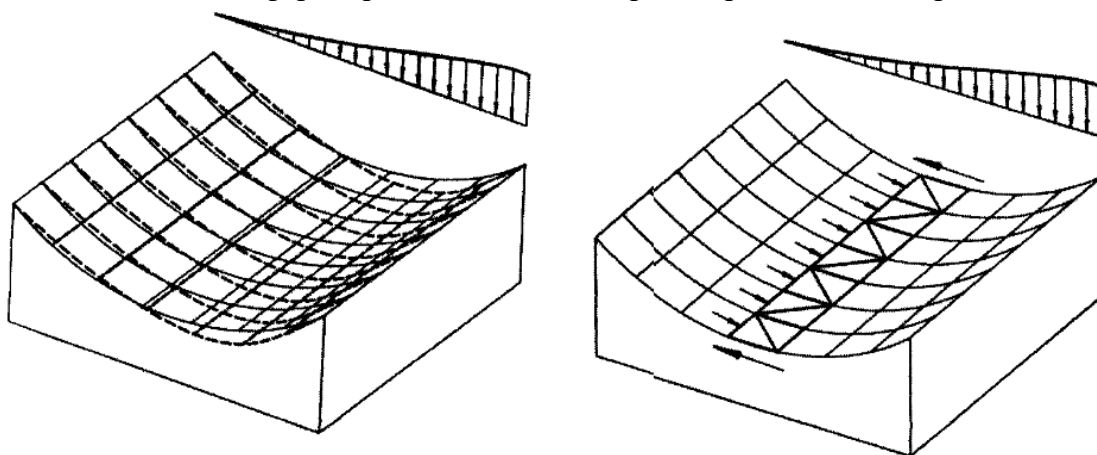


Рисунок 3.59.

Рисунок 3.60.

### 3.24 Квазицилиндрические оболочки на прямоугольных планах

Напряженно-деформируемое состояние мембранной оболочки весьма сложно и до недавнего времени достаточно точному расчету поддавались лишь системы на круглых и овальных планах. Вместе с тем наибольшим спросом в практике строительства пользуются оболочки для прямоугольных планов. Напряженно-деформируемое состояние мембранных оболочек на прямоугольных планах наиболее сложно.

Мембранные оболочки в основном возводятся раскаткой рулонированных стальных листов, но висячей “постели”. При таком способе возведения до заварки листов цилиндрическая система работает как дискретная висячая оболочка с вантами, расположенными вдоль одной оси сооружения. При этом на стадии монтажа до заварки мембранных листов от их веса (до 40 кг/м<sup>2</sup>) в прямоугольном контуре оболочки возникают изгибающие моменты, на порядок превосходящие эксплуатационные.

Для уменьшения монтажных моментов в контуре и улучшения работы оболочки и угловых зонах выполнены уширения контура и введено специальное монтажное устройство – регулирующие затяжки, соединяющие концы уширений криволинейных бортов. Уширения контура могут быть заменены угловыми распорками.

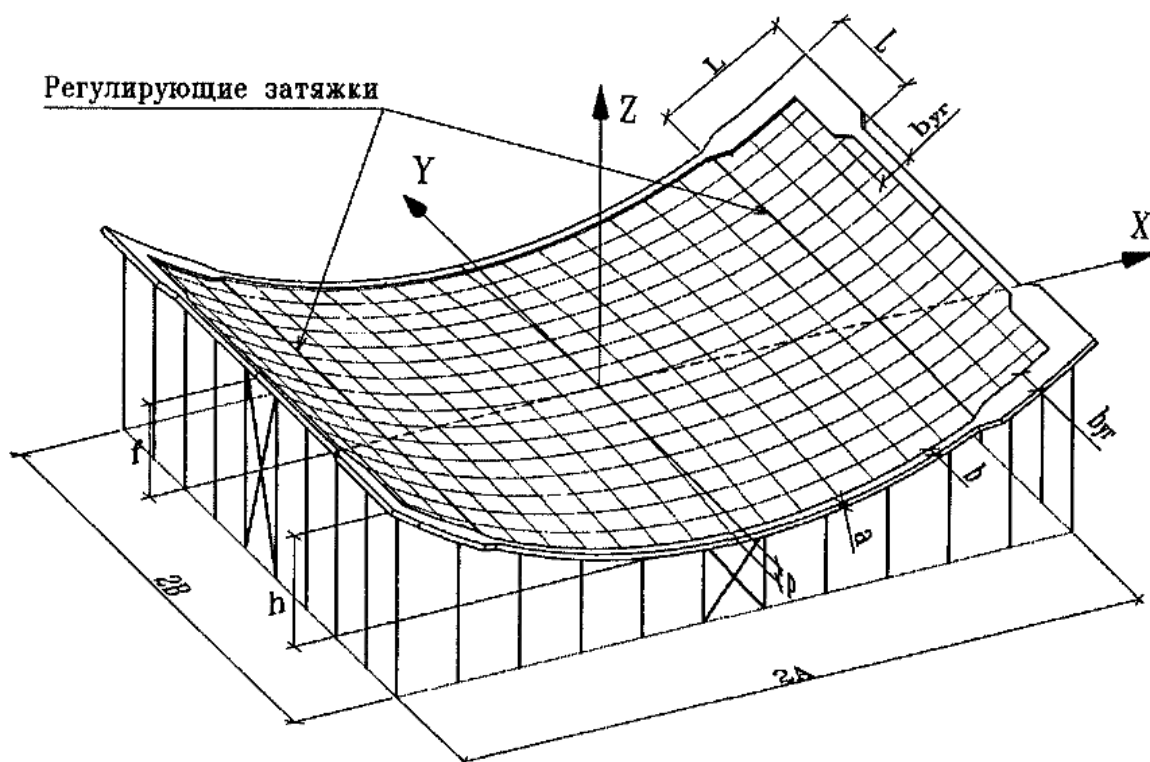


Рисунок 3.61. – Квазицилиндрическая оболочка на прямоугольном плане

1. распределение и величина напряжений в мембране принципиально зависят от жёсткости опорного контура;
2. рациональным может быть гибкий контур с отношением величины пролёта размеру поперечного сечения в горизонтальной плоскости, примерно равным 100;
3. примерно 80% сжимающего усилия передаётся на криволинейный борт сдвигом мембраны, а 20% – от опорной реакции прямолинейного борта;
4. на прямолинейный борт передаётся распределенное поперечное усилие от мембраны, быстро затухающее от уголков к пролёту;
5. благодаря наличию утолщения контура, мембрана в уголовых зонах активно включается в работу в квазипрямолинейном направлении;
6. криволинейный и прямолинейный бортовые элементы имеют схожее распределение усилий;
7. введение уголовых утолщений резко снижает концентрацию напряжений в уголовых зонах мембраны, которые становятся близкими по величине к напряжениям в её центральной части;
8. горизонтальные перемещения контура незначительны.

У мембраны наибольший прогиб в зонах, близко расположенных к середине прямолинейных бортов.

На стадии монтажа система рассматривается как дискретная вантовая.

Усилие в затяжке подбирается из условия, чтобы точки её крепления к криволинейному борту до раскатки мембраны и после остались примерно на месте, а длины утолщенных участков подбираются так, чтобы  $M_1$  и  $M_2$  на гибком участке были равны.

Таким образом, регулирующая затяжка фактически перегоняет изгибающий момент в углы, где контур усилен. Усилия, возникающие на стадии монтажа в контуре оболочки, суммируются с усилиями на эксплуатационной стадии.

Усилия в системе после заварки листов мембраны на все эксплуатационные нагрузки рассчитываются на компьютере.

На рисунок 3.61. показаны эпюры моментов в контуре при отсутствии регулирующей книжки (а) и с регулирующей затяжкой (б).

### 3.25 Кольцевые мембранные оболочки

Ниже будут рассмотрены кольцевые мембранные оболочки положительной гауссовой кривизны на эллиптических планах, ширина кольца которых в несколько раз меньше внешних размеров эллипса.

Кольцевые оболочки на круглых планах мало отличаются от оболочек с малым центральным вырезом. Основное отличие заключается в необходимости обеспечения жесткости центрального кольца, обеспечивающей минимум его деформации при несимметричных нагрузках.

Значительно сложнее обстоит дело с оболочками на эллиптических планах.

Как показали расчеты, внутренний контур кольцевой оболочки должен быть деформированным. Причем провис внутреннего контура больше там, где кривизна в плане наружного контура меньше.

Эта закономерность настолько жестка, что даже если смонтировать внутренний контур горизонтальным на временных опорах, а после монтажа оболочки раскружались, внутренний контур примет такую форму, которая ему необходима. Этим эта система похожа на висячую нить, поскольку она принимает только форму, равновесную внешней нагрузке.

При демонтаже временных опор прогиб в разных точках внутреннего контура может разниться в десяток раз, а начальные усилия в системе в несколько раз превышать оптимальные (рисунок 3.62). Нахождение оптимальной начальной формы внутреннего контура и отметок, на которых он должен быть смонтирован на временных опорах, может быть произведен по специальной схеме на компьютере по геометрически нелинейным программам.

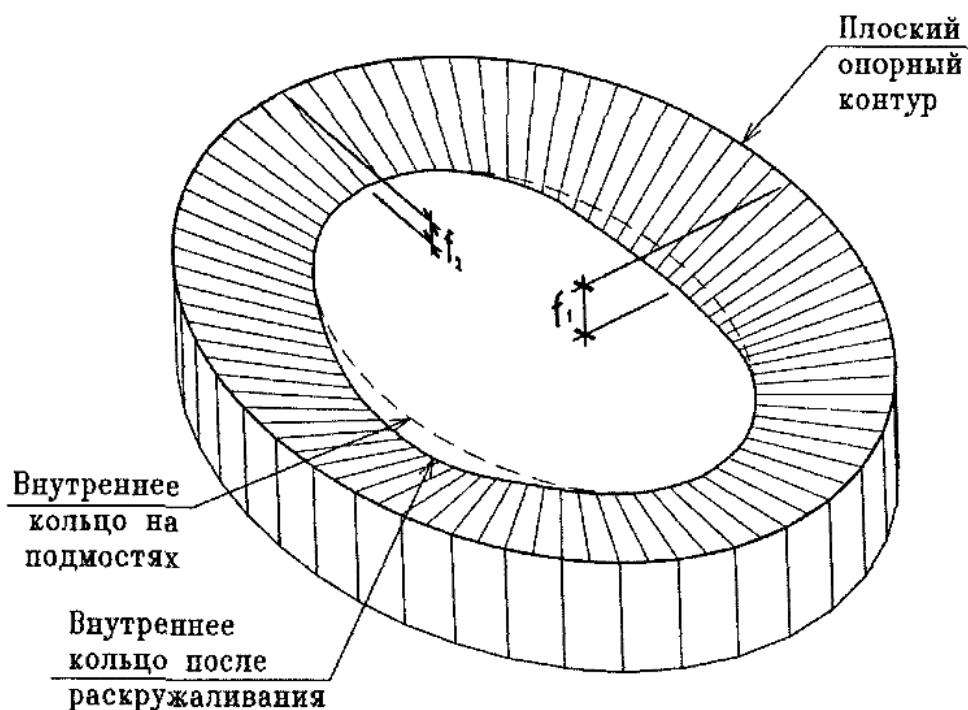


Рисунок 3.62.

Наиболее интересным проектом мембранной кольцевой оболочки явился проект козырька над трибунами Большой спортивной арены в Лужниках.

Центральный стадион, построенный в Москве в 1956 году, представлял собой открытую арену с трибунами на 100 тыс. мест. Овальное в плане сооружение стадиона с основными размерами 300x240 м имеет прямолинейные участки контура длиной 60 м. Ширина козырька должна составлять 60 м.

На основании сравнительного анализа для стационарной части покрытия была выбрана висячая мембрана.

Применение в данном проекте висячей мембранной оболочки с центральным вырезом потребовало значительной стрелы ее провиса – не менее 10 м учетом депланированного внутреннего кольца. Это приводит к необходимости соответствующего подъема наружного контура, что нарушает внешний облик стадиона, либо к опусканию внутреннего кольца, что ухудшает обзор для зрителей. Кроме того, возникают проблемы с водоотводом с покрытия.

В результате, для стационарной части покрытия над трибунами предложена конструкция в виде террасированной мембраны. Она состоит из трех, расположенных одна над другой, кольцевых мембранных оболочек шириной около 20 м, повторяющих в плане очертание стадиона и в целом вспарушенных в интерьере (рисунок 3.63). Каждая из кольцевых мембран опирается на нижележащую через систему стоек, объединенных связями. Эти вертикальные цилиндрические поверхности высотой 6 м заполняются светопрозрачными жалюзийными витражами, что позволяет осуществить естественное освещение и вентиляцию подтрибунного пространства. Удаление дождевой и талой воды с покрытия предусмотрено самотеком через трубы, снабженные электроподогревом, работающим в зимнее время (рисунок 3.63).

Каждая из трех кольцевых мембранных оболочек состоит из пролетной конструкции, наружного и внутреннего опорных колец (рисунок 3.63). Пролетная конструкция собирается из металлических трапециевидных тонколистовых полотнищ длиной на пролет (около 20 м) и шириной до 10 м. Монтаж мембранной оболочки предусмотрен на проектной отметке с использованием временных опор, расположенных только под кольцами, раскат кой рулонных полотнищ по системе предварительно смонтированных вспомогательных элементов ("постель"), геометрия которых определяет начальную форму поверхности покрытия. "Постель" состоит из радиальных и кольцевых элементов, образующих пространственную висячую систему. Радиальные элементы выполняются из стальной полосы длиной на пролет и располагаются шагом около 5 м. Кольцевые элементы из швеллеров устанавливаются через 4 м. Тонколистовая сплошная оболочка образуется объединением отдельных мембранных полотнищ на сварке на радиальных элементах "постели" с нахлесткой кромок мембраны. Присоединение мембраны к контуру выполняется также на сварке с использованием опорного столика.

Рациональная форма поверхности покрытия определена численными исследованиями, в которых варьировалась геометрия оболочки, за счет изменения отметок оси внутренних колец. Установлено, что в данной конструкции окончательная стрела провисания оболочки пол под нагрузкой мало зависит от ее начальной величины. Это справедливо даже для случая первоначально (на стадии монтажа) плоских внутренних колец. При этом их прогибы по короткой оси сооружения более чем в 3 раза превышали прогибы, по длинной оси. Основным критерием рациональности формы покрытия является примерное равенство прогибов колец по их длине. Это достигается начальной депланацией оси внутренних колец. В этом случае удастся до трех раз уменьшить вертикальные перемещения колец и изгибающие моменты в них. Таким образом, установлена не только форма

оси опорных колец в вертикальной плоскости, но и величины начальных стрел их провиса, а также рациональная геометрия пролетной конструкции трех кольцевых мембран.

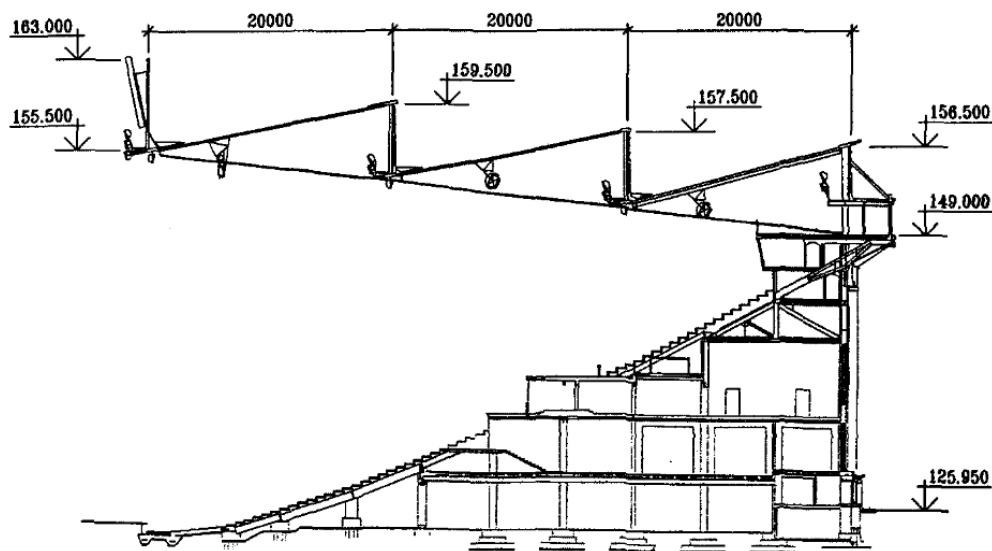


Рисунок 3.63. – Фрагмент разреза террасированной кольцевой мембранной оболочки для Большой спортивной арены в Лужниках

### 3.26 Комбинированные оболочки

**Комбинированные оболочки** (составные) представляют собой пространственные покрытия, поверхность которых образована совокупностью нескольких или многих элементарных поверхностей, пересекающихся между собой со скачкообразным изменением кривизны срединной поверхности по линии сопряжений. Составные покрытия комбинируют из фрагментов жестких оболочек, поверхности которых могут иметь одинаковые или различные знаки кривизны. К составным оболочкам могут быть отнесены покрытия, формы которых развивают решения, применявшиеся в каменном зодчестве (сомкнутые или крестовые своды), строятся на новых формах элементарных оболочек (например, из лепестков гипаров) или на их новых сочетаниях.

Оболочки комбинируют с непосредственным контактом между ними и устройством общих ребер (ендов или коньков) либо с разрывом. В последнем случае в разрывах между оболочками устанавливают светопрозрачные конструкции, а каждая из оболочек имеет индивидуальные контурные ребра.

Сомкнутые и крестовые своды из фрагментов (лотков, распалубок) цилиндрических железобетонных оболочек применяют в покрытиях пролетом 60–80 м со стрелой подъема  $1/6$ – $1/8$  пролета. Сомкнутые своды устраивают в покрытиях залов с треугольной, квадратной или многоугольной формой плана. С увеличением числа лотков форма сомкнутого свода приближается к купольной.

Естественное верхнее освещение покрытий залов с покрытиями крестовыми и сомкнутыми сводами обеспечивают фонари, установленные в вершине свода (при контакте элементарных оболочек), или светопрозрачные линейные конструкции, расположенные вдоль стыков между элементарными оболочками.

Преобразование традиционных конструкций сомкнутых и крестовых сводов в современной архитектуре железобетона сопряжено не только с увеличением физических размеров конструкции (пролет 60–80 м, в отдельных случаях 150–200 м), но и с измене-



нием ее очертания (снижение стрелы подъема) и расположения светопрозрачных элементов.

Еще более разнообразны новейшие сочетания элементарных оболочек, позволяющие устраивать покрытия над зданиями различной формы в плане с различными вариантами включений светопрозрачных элементов.

Составные оболочки представляют собой наиболее широкие возможности удовлетворять разнообразные функциональные требования и позволяют перекрывать большепролетные помещения с максимальной экономией пространства. Они обеспечивают композиционное разнообразие архитектурных форм. Однако до последних лет применение комбинированных оболочек было крайне ограниченным в связи со сложностью конструкций их опалубки и технологии возведения покрытий в монолитном железобетоне

Центрально-симметричное покрытие образуют центральная и радиальные боковые оболочки. Покрытие может быть дополнено вспарушенными треугольными оболочками, расположенными между боковыми по периметру покрытия

(рисунок 3.64, А). На основе двух исходных форм – купола и висячей оболочки – авторы предложили серию вариантов составных вспарушенных и висячих оболочек на многоугольном плане (рисунок 3.64, Б). Центральная часть наиболее часто представляет собой пологую оболочку положительной кривизны, радиальные части – оболочки как положительной, так и отрицательной кривизны.

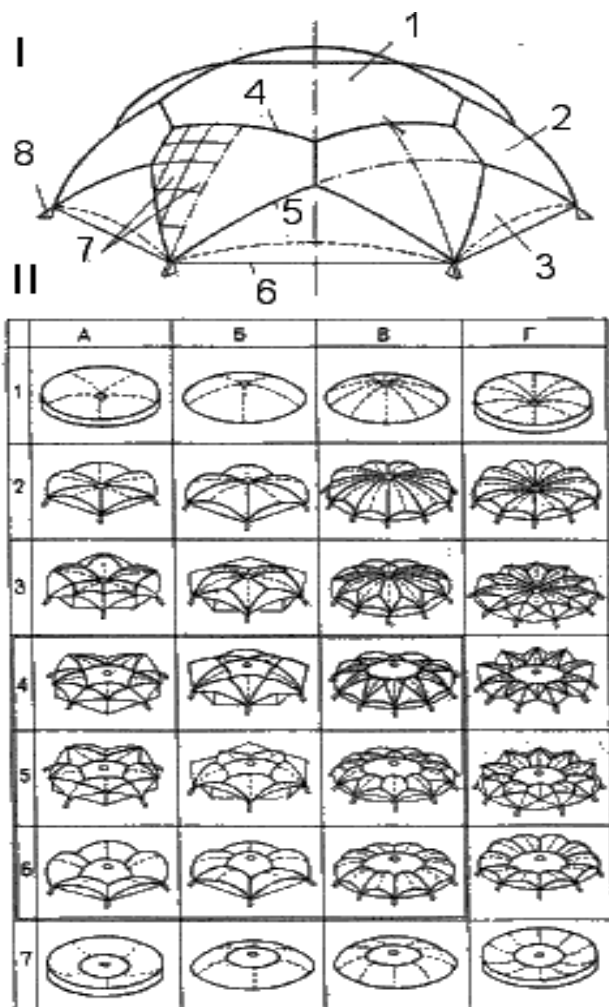


Рисунок 3.64– Составные оболочки на многоугольном плане:

I – элементы и параметры оболочки:

1–центральный; 2 – радиальный;

3– боковой дополняющий элемент;

4 – внутреннее кольцо;

5 – контурная арка; 6 – затяжка;

7 – сборные плиты; 8 – опора;

II – система вспарушенных и висячих оболочек (по З.Жуковскому)

Модификации форм покрытий способствуют изменению их высоты, числа радиальных оболочек, связанные с формой плана, и изменение протяженности контакта центральной оболочки с радиальными и последних между собой от нуля до конечных величин.

Сборно-монолитные конструкции составных оболочек выполняют из ребристых плит с цилиндрической поверхностью и прямоугольным, треугольным или трапециевидным планом, аппроксимирующих торцовые поверхности отрицательной и положительной кривизны. Боковые оболочки проектируют самонесущими, что позволяет применять подмости только для монтажа центрального фрагмента покрытия. Конструкции применимы для перекрытия пролетов от 40 до 150 м. Один из наиболее известных примеров применения сборно-монолитного составного покрытия – конструкция универсального олимпийского зала «Дружба» в Москве (инженеры Г. Львов, Э. Жуковский, В. Шабля).

Здание близкой к овалу формы в плане (наибольший пролет 96 м) покрыто комбинированной системой из центральной, пологой сферической квадратной в плане оболочки (48х48 м), опертой на 28 наклонных боковых оболочек складчатого профиля, объединенных тремя горизонтальными кольцами: по сопряжению со сферической оболочкой по линии перегиба наклонных оболочек и фундаментной плитой (рисунок 3.65).

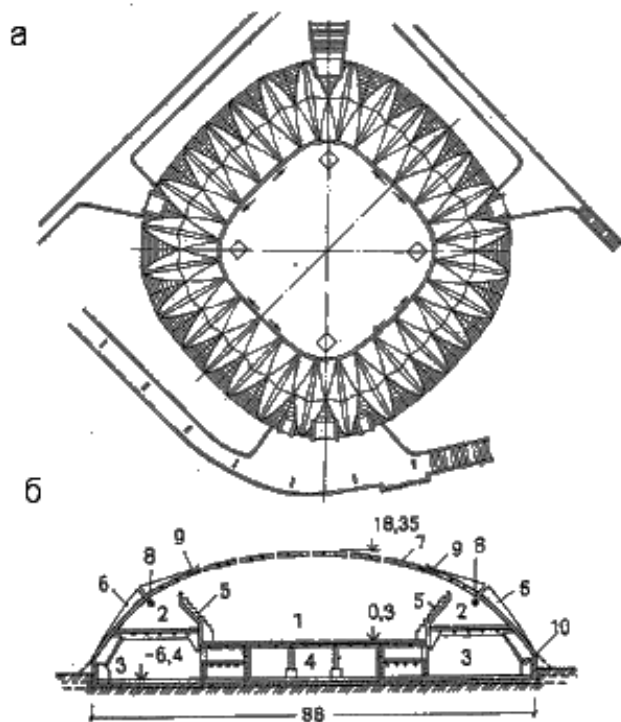


Рисунок 3.65.—Универсальный спортивный зал "Дружба", в Лужниках (Москва): а – план покрытия; б – разрез; 1 – демонстрационный зал; 2 – фойе; 3 – тренировочные залы; 4 – технические помещения; 5 – трибуны; 6 – складчатая оболочка; 7 – сферическая оболочка; 8–10 – кольца

Эффективность и легкость несущей конструкции требуют применения наиболее легких утепляющих материалов (пенополистирол, пенополиуретан и др.) как при построечном устройстве кровли, так и в случаях выполнения сборных элементов оболочек высокой заводской готовности с утеплением и гидроизоляцией панелей на заводе. При построечном выполнении кровельных работ следует учитывать, что устройство рулонного покрытия по оболочкам двоякой кривизны затруднительно: требует постоянного полкром рулонного материала по форме изолируемой поверхности. Поэтому для большинства пространственных конструкций, за исключением складчатых, применяют мастичные гидроизоляционные покрытия. Следует отметить, что мастичные покрытия служат вообще наиболее целесообразным материалом для малоуклонных крыш. По мере совершенствования мастик и технологии их устройства они будут вытеснять рулонные покрытия.

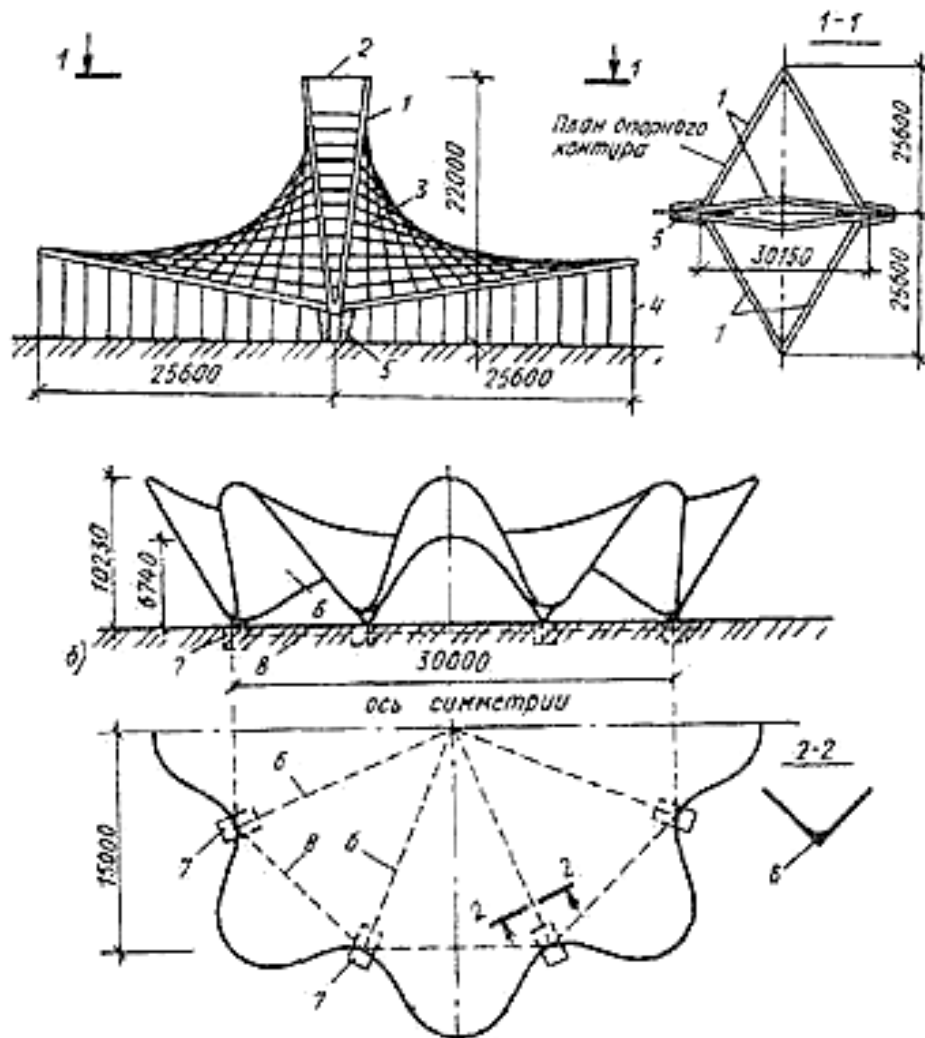


Рисунок 3.66. – Комбинированные оболочки из гипаров значительной кривизны:  
а – покрытие из двух гипар (Мексика); б – покрытие из восьми пересекающихся гипар (Мексика): 1 – опорный контур; 2 – стяжки – распорки между опорными контурами; 3 – железобетонная и монолитная оболочка; 4 – затяжки заанкеренные в грунте; 5 – две боковые опоры, 6 – длина пересечения поверхностей гипар; 7 – сводчатые фундаменты; 8 – затяжки воспринимающие распор от оболочки

Как рулонные, так и современные мастичные покрытия плохо служат на поверхностях с уклоном свыше  $30\text{--}35^\circ$  (например, в нижней зоне подъемистых куполов): от солнечного перегрева гидроизоляционная мастика и пропитка рулонных материалов приобретают подвижность и могут стечь по покрытию, что приведет к нарушениям изоляции и внешнего вида. Во избежание этого для подъемистых оболочек (по всей поверхности или в нижней крутоуклонной зоне) применяют покрытие плоскими или профилированными плитными либо листовыми материалами по обрешетке, закрепленной к покрытию отдельными анкерами, проходящими через утеплитель. Эта мера также предохраняет утеплитель от сползания по крутому уклону. В качестве кровельных материалов в этих случаях используют плоские и профилированные листы или плитки из алюминия, оцинкованной стали, асбестоцемента, полиэфирного стеклопластика либо эластомеры.

### 3.27 Висячие стержневые системы

Висячие конструкции наряду с покрытиями из тонкостенных жестких оболочек являются наиболее экономичными конструкциями большепролетных покрытий. Они изобретены и впервые применены в 1896 году В.Г. Шуховым, но широкое внедрение в строительство получили только со второй половины XX века, когда уровень развития строительной техники существенно возрос. Такие покрытия применяют преимущественно для пролетов свыше 60 м в спортивных, зрелищно-спортивных зданиях, выставочных павильонах, аэровокзалах. Висячие конструкции выполняют из металла – тросов, прутков, тонколистовых мембран, сеток, металлических лент (рисунки 3.67). Принципиальными особенностями, определяющими специфику висячих систем, являются их высокая деформативность и аэродинамическая неустойчивость.

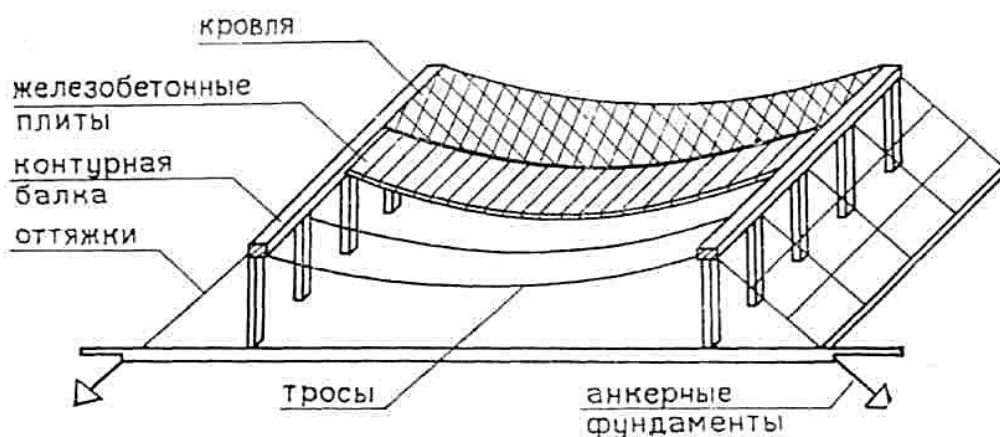


Рисунок 3.67.— Схема висячего покрытия с плоскими несущими элементами

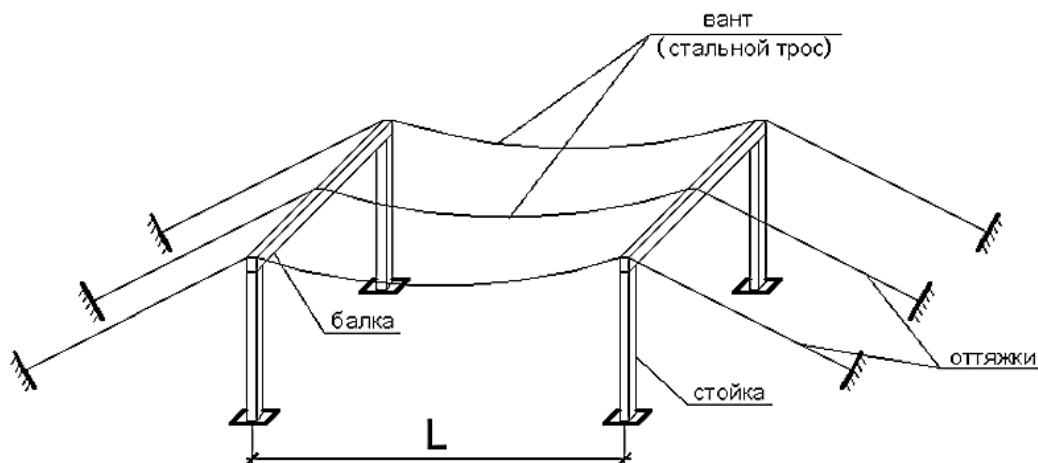


Рисунок 3.68.— Схема вантовой конструкции покрытия

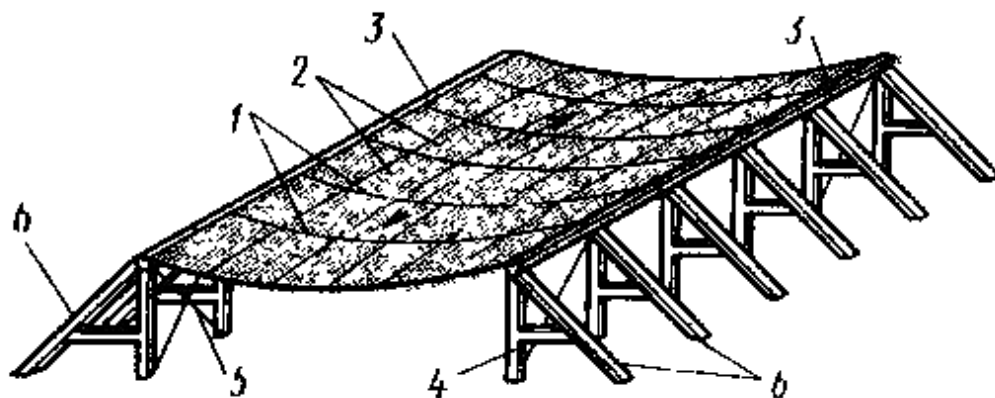


Рисунок 3.69.— Висячее вантовое покрытие:  
1 – несущие канаты (ванты). 2 – плиты, 3 – опорный контур, 4 – колонны (стойки),  
5 – связи жесткости (диафрагмы), б – обетонированные оттяжки

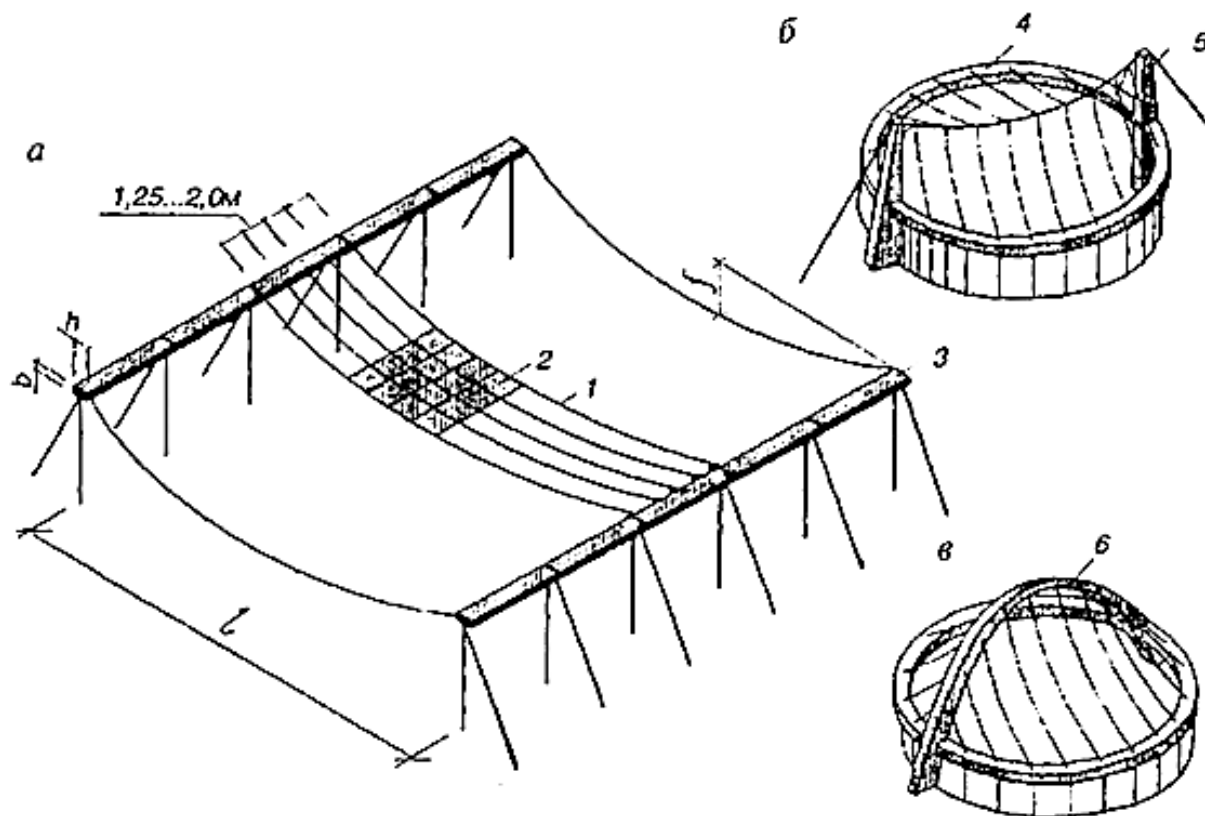


Рисунок 3.70.— Схемы однопоясных систем с параллельными нитями:  
а – на прямоугольном плане; б, в – на круглом плане; 1 – несущие нити;  
2 – плиты кровли; 3 – балки опорного контура; 4 – опорное кольцо; 5 – пилон;  
6 – арка

Основной недостаток висячих систем – их деформативность при действии временных нагрузок. Вантовых конструкций могут быть однопоясными, двухпоясными, седловидными, Байтовыми и комбинированными.

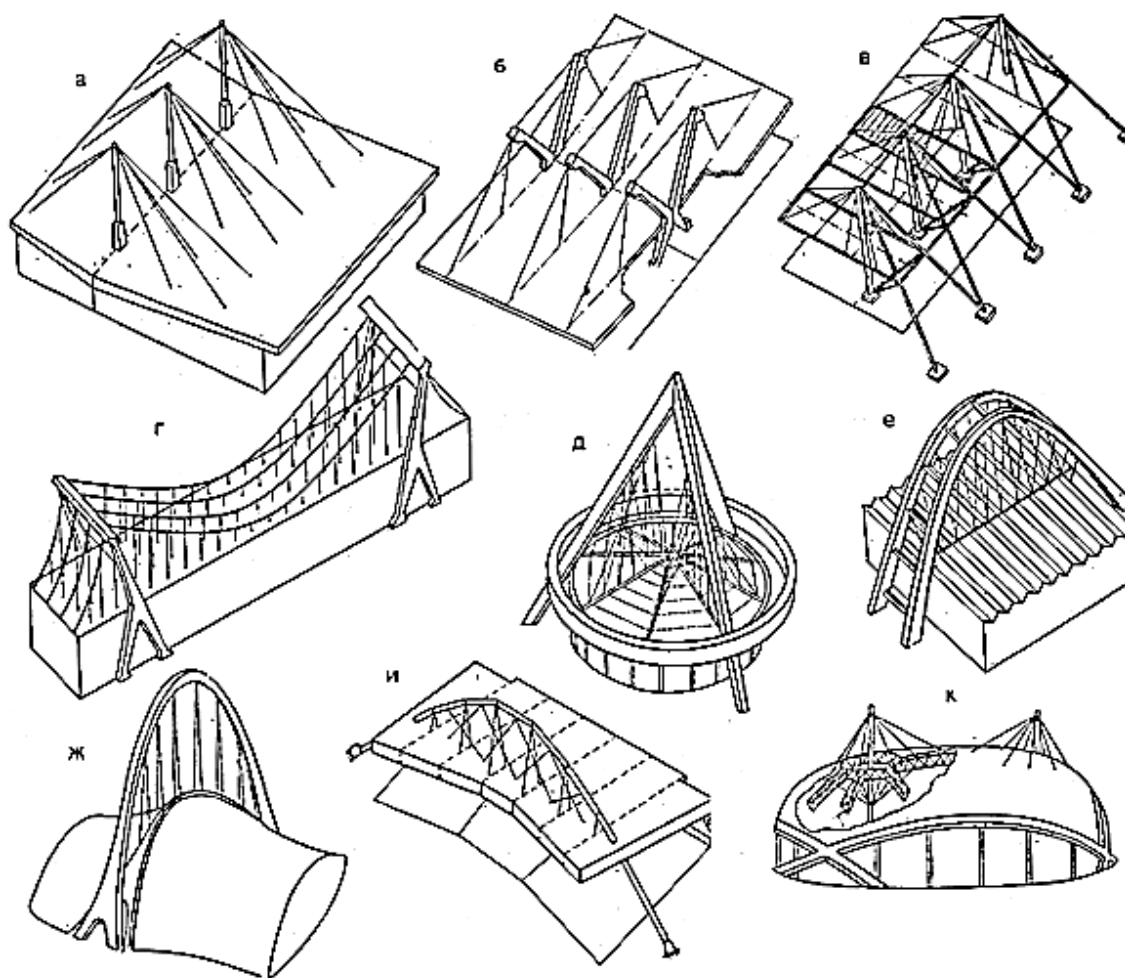


Рисунок 3.71. – Висячие конструкции:

а – вантово–балочное покрытие спортивного зала в Канаде с пролетом  $59,5 \times 26$  м, высотой пилонов 20 м; б – консольное покрытие павильона машиностроительной выставки со сложной формой пилонов с несущими вантами, поддерживающих балки; в – покрытие трибун на трассе велосипедных гонок в Японии консольно–подвесной конструкцией длиной 88 м, шириной 33 м с наклонными пилонами, поддерживаемые двумя двутавровыми оттяжками; г – покрытие бумажной фабрики в Италии в виде висячего моста пролетом 163 м и двумя консолями по 43 м; д – покрытие спортивной базы на горном склоне Южной Франции диаметром 20 м подвешенное к трем наклонным пилонам, соединенных в верхней точке с балками и наружным кольцом из клееной древесины; е – покрытие спортивного зала в Румынии призматическими складками размером  $45 \times 43$  м, подвешенными к двум аркам пролетом 80 м; ж – проект седловидного сетчатого покрытия стадиона на 80 тыс. зрителей, опирающегося на пологую арку пролетом 434 м, которая подвешивается с помощью наклонных вант к внешней арке пролетом 367 м, стрелой подъема 235 м, и высотой сечения 10 м с помещением ресторана в ней на 200 мест; и – покрытие летнего кинотеатра в Чехословакии подвешенное к гибкой арке пролетом 80 м и стрелой подъема 20 м из прокатных профилей; к – покрытие стадиона в Великобритании в виде ребристой оболочки из трубчатых ферм, подвешенных к двум пилонам высотой 30 м с помощью пучков наружных вант и алюминиевым настилом по стальным прогонам

### 3.28 Вантовые конструкции покрытия

Работа пролетного строения на растяжение обеспечивает максимальное использование несущей способности материала по сравнению с условиями его работы в изгибных или сжимаемых конструкциях. Именно это преимущество определяет минимальную массивность и экономичность пролетного строения. Однако минимальная массивность при больших относительных деформациях металла тросов определяет и повышенную деформативность висячей системы – способность к кинематическим перемещениям при воздействии сосредоточенных нагрузок на покрытие и опасность потери общей устойчивости системы при ветровом отсосе: происходит «выхлоп» в сторону, обратную провису. Для устранения этих недостатков предусматривают специальные меры, которые обеспечивают стабилизацию формы, но приводят к удорожанию конструкции. Стабилизацию выполняют за счет увеличения массы покрытия, введения изгибно-жестких элементов в систему или за счет ее предварительного напряжения.

Стабилизация вант пригрузом выполняется с помощью железобетонных плит покрытия, которые с помощью арматурных выпусков крепят к тросам с последующим замоноличиванием швов.

В шатровых покрытиях стабилизацию формы покрытия может обеспечить предварительное натяжение системы за счет подъема средней стойки или опускания опорного контура.

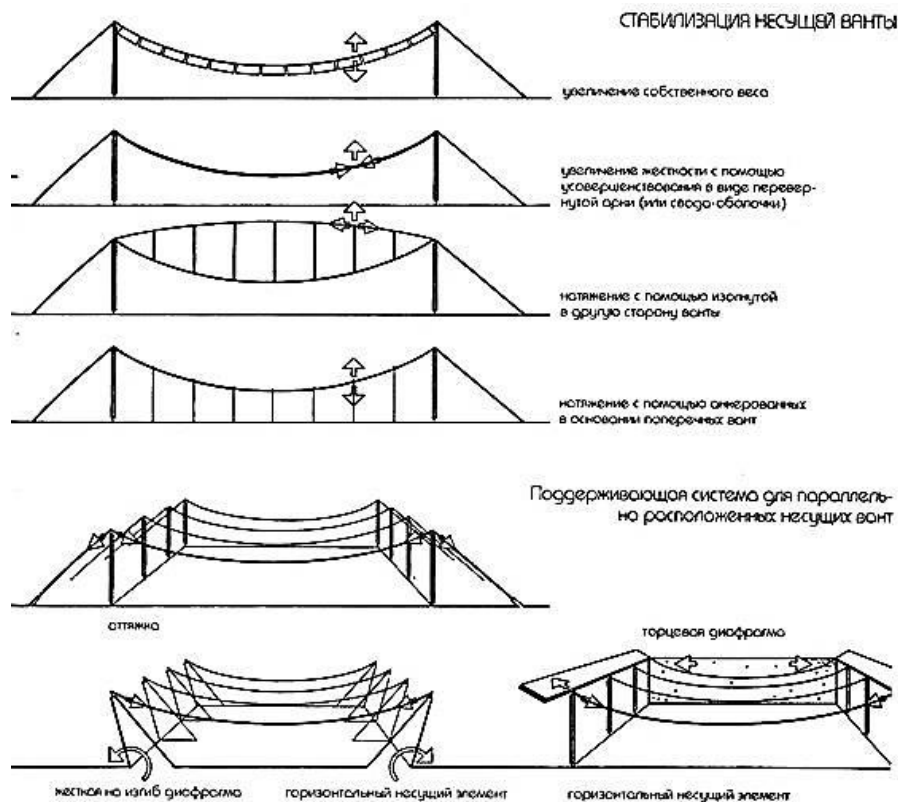


Рисунок 3.72.– Виды стабилизации вант

В зданиях с прямоугольным разомкнутым опорным контуром распор однопоясной системы передают на внешние оттяжки, опоры зрительских трибун (рисунок 3.73).

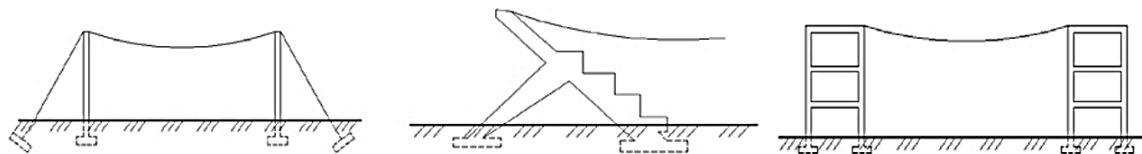


Рисунок 3.73.– Восприятие распора

Висячие конструкции представляют собой распорную систему и осуществление конструктивных мероприятий по восприятию распора является вторым удорожающим фактором. Чаще всего распор передают на опорный контур системы. Очертания опорного контура висячего покрытия образуются по линии пересечения поверхности покрытия с наружными стенами. Усилия передаются на рамы, контрфорсы, или оттяжки, опоры зрительских трибун или на несущие конструкции примыкающих пристроек. По геометрическому признаку различают однопоясные покрытия из тросов и стержней, мембранные покрытия из стальных листов, покрытия из системы изгибно-жестких элементов, седловидные покрытия из сеток или металлических лент. Наибольшим архитектурным своеобразием и индивидуальностью обладают комбинированные формы покрытий (рисунок 3.74).

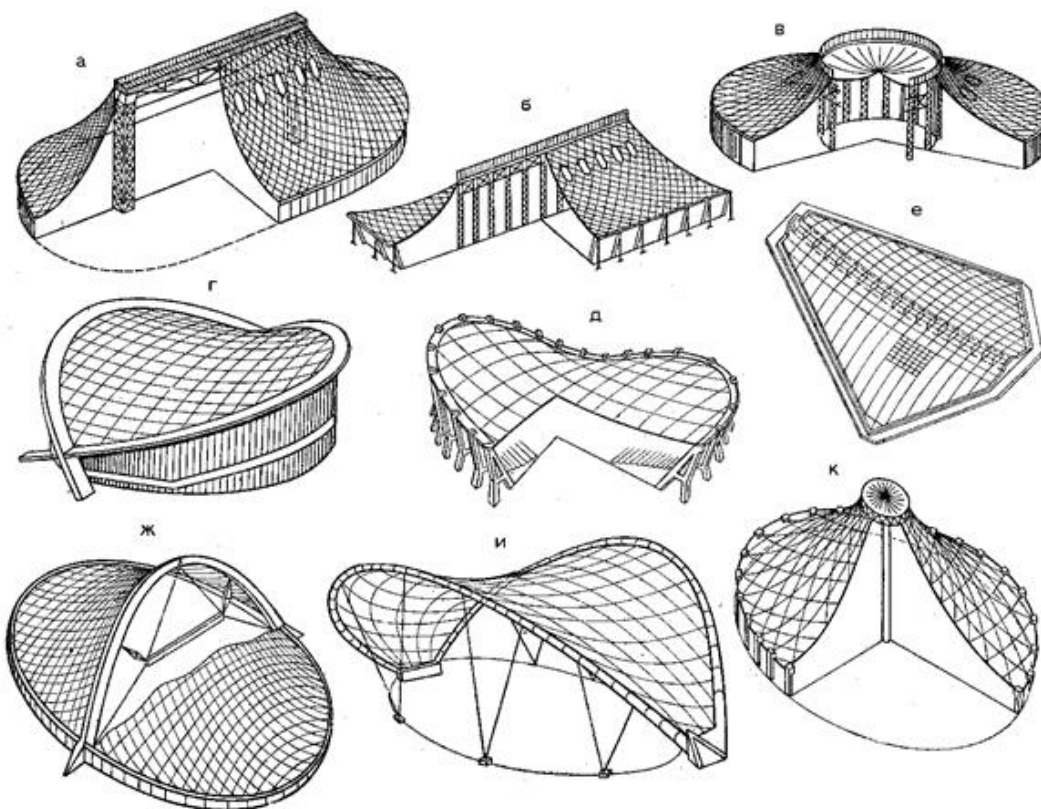


Рисунок 3.74.– Конструктивные схемы однопоясных сетчатых (седловидных) висячих покрытий, стабилизация которых достигается за счет напряжения несущих вант стабилизирующими: а, б, в – висячие покрытия В.Г. Шухова для павильонов Нижегородской выставки в 1896 г., несущие и стабилизирующие элементы выполнены из полос железа с болтовыми соединениями по концам и в местах пересечения полос, кровля выполнена из листового железа, стойки и элементы, воспринимающие распор, решетчатые клепаные, размер павильонов (а – 98 × 51 м, б – 73 × 30 м, в – диаметр 68 м); г – покрытие арены в г. Ралей (США) размером 92 × 97 м, состоящее из опорного контура из двух пересекающихся



наклонных арок сечением  $4,2 \times 0,75$  м, с наклоном к горизонту  $22^\circ$ , которые сами поддерживаются натянутой сеткой из несущих вант, а стабилизировались оттяжками; д – покрытие театра в Нигерии размером  $80 \times 73,5$  м; е – покрытие гимнастического зала в Японии с пролетом в направлении несущих вантов 70 м и фонарем шириной 4 м и высотой 2 м; ж – овальное покрытие выставочного павильона в Швейцарии с размерами по осям 120 м и 87 м с опиранием на трехшарнирную шпренгельную арку сечением  $1,2 \times 0,2$  м, изготовленную из клееной древесины, несущие полосы выполнены из фанеры со стабилизацией несущих полос поперечными канатами; и – покрытие летнего кинотеатра в Польше с использованием трубчатых арок пролетом 101,6 м и удерживающих несущих тросов натянутых в поперечном направлении и стабилизирующих прогонов из двутавров; к – овальное сетчатое покрытие шатрового типа выставочного павильона размерами по осям  $97,6 \times 81,4$  м с центральной стойкой высотой 45,7 м с кольцом для закрепления несущих и стабилизирующих стальных канатов

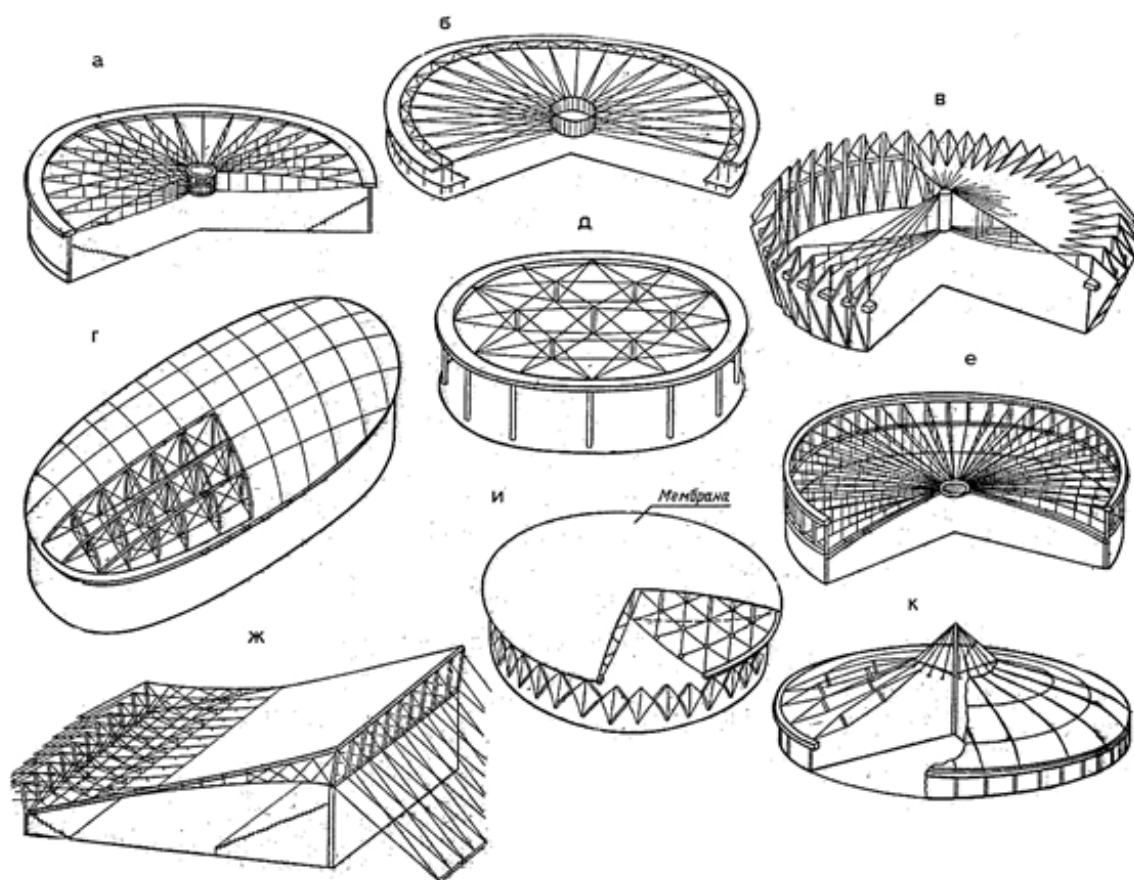


Рисунок 3.75. – Конструктивные схемы двухпоясных висячих покрытий:

а – вантовое покрытие зрительного зала в США диаметром 73 м с трубчатыми распорками между несущими и стабилизирующими тросами и кровлей из металлического настила; б – покрытие выставочного павильона в Брюсселе с редким расположением трубчатых распорок с верхним опиранием кольцевых прогонов на канаты; в – покрытие спортивного зала в США диаметром 98 м с пересекающимися радиальными вантовыми фермами и центральным растянутым кольцом; г – покрытие овальной формы стадиона в США размером  $128 \times 92$  м с пересекающимися выпуклыми линзовидными фермами с верхним стабилизирующим поясом из двутавра, нижним несущим – из тросов, стойками из коробчатых профилей; д – покрытие из висячих перекрестных ферм в трех направле-

ния; е – покрытие выставочного павильона в Дании диаметром 80 м с расположением несущих и стабилизирующих тросов снаружи покрытия и креплением к нижним поясам деревянных ребер купола и укладкой по ним настила и кровли; ж – наклонное покрытие спортивной арены в нигерии с прямоугольным планом пролетом 70 м с перекрестной решеткой и укладкой кровельного настила на половине пролета по верхнему поясу, а на другой половине – по нижнему; и – покрытие с нижним несущим поясом из тросовой сетки, а верхним стабилизирующим – из мембраны; к – шатровое покрытие сельскохозяйственной постройки диаметром 33 м со средней шарнирно опертой стойкой, к которой подвешиваются радиально расположенные двухпоясные канатные фермы с трубчатыми распорками и деревянным настилом покрытия

Однопоясные конструкции проектируют со стрелой провиса от  $1/17$  до  $1/25$  пролета и применяют для покрытий зданий с прямоугольной, круглой или эллиптической формой в плане. Покрытие над прямоугольным залом выполняют из системы параллельных стержней или тросов с кривой провиса в виде квадратной параболы, над круглым – из системы радиальных тросов с кривой провиса по кубической параболе. Покрытие над круглым залом с центральной опорой имеет форму шатра. Покрытие с центральной опорой проектируют для зданий рынков, без нее – для зрелищных, спортивных и выставочных залов.

Покрытие над прямоугольным залом выполняют из системы параллельных стержней или тросов с кривой провиса в виде квадратной параболы, над круглым – из системы радиальных тросов с кривой провиса по кубической параболе. Покрытие над круглым залом с центральной опорой имеет форму шатра. Покрытие с центральной опорой проектируют для зданий рынков, без нее – для зрелищных, спортивных и выставочных залов.

### **3.29 Вантовые системы со стабилизацией с помощью железобетонной скорлупы**

Стабилизация радиальных вантовых систем может осуществляться их преднапряжением на жесткую скорлупу. В этом случае система превращается в перевернутый железобетонный купол.

О жесткости различного типа вантовых систем можно сказать следующее:

- преднапряженные чисто вантовые системы в 2–3 раза жестче аналогичной не напряженной системы.
- системы с жесткими вантами на порядок жестче ванта
- жесткость вантовой системы с обжатой железобетонной скорлупой равна жесткости железобетонного купола.

Единственным примером радиальной вантовой системы в г. Москве является покрытие Бауманского рынка, основной зал которого перекрыт висячей железобетонной предварительно – напряженной оболочкой диаметром 80 м.

Оболочка очерчена по поверхности вращения, образующая которой – кубическая парабола. Покрытие опирается на 16 наклонных опор, представляющих собой двухветвевые стальные колонны с ветвями, сходящимися у нижней опоры и расходящимися до м в месте примыкания к опорному кольцу оболочки. Это метровое “плечо” обеспечивает жесткое защемление колонн в опорном контуре в кольцевом направлении. Описание колонн на фундамент шарнирное. Такая конструкция колонн и опорных узлов гарантирует общую устойчивость сооружения и восприятие ветровых нагрузок, не требуя никаких вертикальных связей.

Основным несущим элементом оболочки является радиальная вантовая сеть из рас-

косов диаметром 52,5 мм.

Каждый вантовый элемент представляет собой канат длиной около 35 м с гильзоклиновыми анкерами на концах. Ванты закрепляются в опорном кольце в гениальном анкерном канале посредством вилочных шайб и объединяются в центре с помощью стального кольца. Закрепление вантового элемента в центральном стальном кольце проводится так же с применением вилочных шайб.

Опорное кольцо – сборно-монолитное, прямоугольного сечения 1,51 м. Сборные элементы кольца имеют швеллерное сечение с толщиной стенки 20 см. Центральное кольцо диаметром 12 м имеет сечение в виде двух сварных швеллеров. Поле оболочки собирается из сборных керамзитобетонных плит, укладываемых на тросы (рисунок 3.76). Плиты толщиной 8 см имеют трапециевидную форму в плане.

На центральное кольцо опирается световой фонарь, представляющий собой решетчатую стальную оболочку в форме полусферы диаметром 12 м.

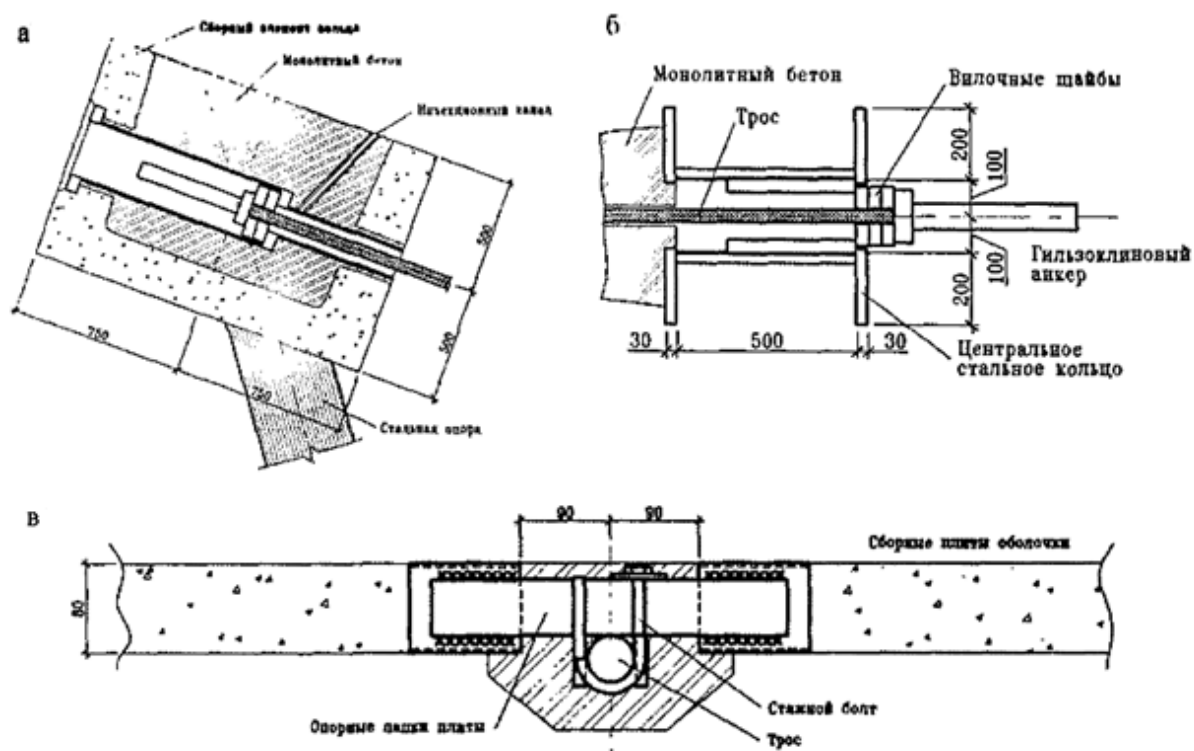


Рисунок 3.76 – а) Крепление троса в опорном кольце;  
б) крепление троса в центральном кольце; в) опирание плит на тросы

Порядок возведения оболочки следующий. Сначала с помощью временных опор устанавливаются стальные колонны, на которых монтируются и свариваются между собой сборные железобетонные элементы кольца. После того как кольцо замкнуто, производится его замоноличивание.

Второй этап – на центральной временной опоре монтируются стальное кольцо и световой фонарь. Отметка, на которой устанавливается стальное кольцо, выбрана так, что после укладки всех плит оболочки происходит самораскручивание. Окончательная стрела провеса равна 3,5 м.

Вслед за тем монтируются вантовые элементы и осуществляется укладка сборных плит оболочки (кольцами от центра к периферии) и замоноличиваются кольцевые швы.

И, наконец, производится преднапряжение за три обхода до усилия 130 т и замоноличиваются радиальные швы.

Тема висячих оболочек на круглом плане получила развитие в покрытии диаметром 60 м, осуществленном в г. Ессентуки. В этой оболочке был учтен опыт, полученный при проектировании и строительстве Бауманского рынка.

Для упрощения опирания плит на ванты последние были выполнены парными с опиранием плоской плиты непосредственно на вент. Это упростило узел опирания и примерно на 20 % сократило расход стали.

### 3.30 Вантовые системы на прямоугольных планах

На практике чаще требуется перекрытия для прямоугольных планов. Для безмоментности контуров таких оболочек, очевидно, что необходимо крепить вантовую сеть только в угловые точки контура. Из всех имеющихся примеров вантовых систем такого рода наиболее рациональны “многополюсные” радиальные вантовые системы. Пример такой конструкции дан на рисунок 3.77.

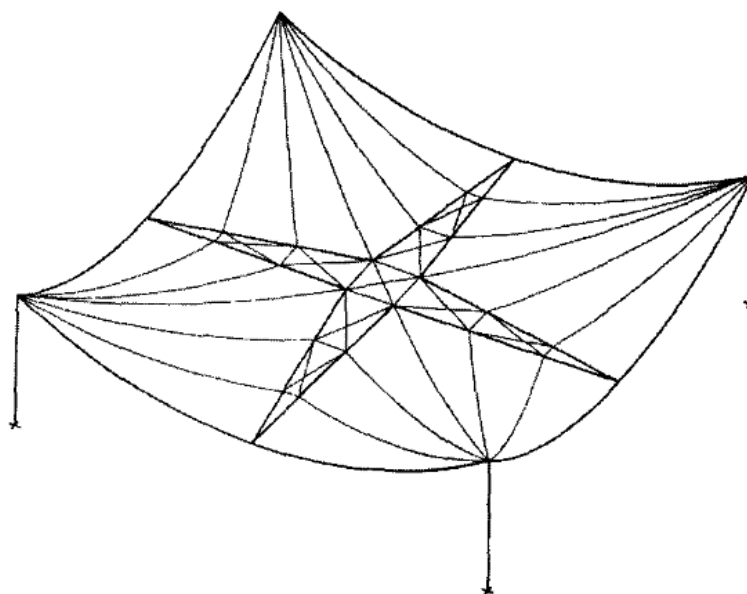


Рисунок 3.77

Поверхность, в которой лежат ванты такой оболочки, есть пересекающиеся параболы.

Полюса систем вант расположены в вершинах многоугольного плана оболочки. Ванты перегибаются на лучах центрального крестообразного элемента и соединяются с вантами соседнего вантового полюса.

Таким образом, стороны опорного контура только сжаты примерно постоянными силами, а центральный крестообразный элемент растянут.

Усилия растяжения в лучах креста возрастают от нуля до максимума в центре креста.

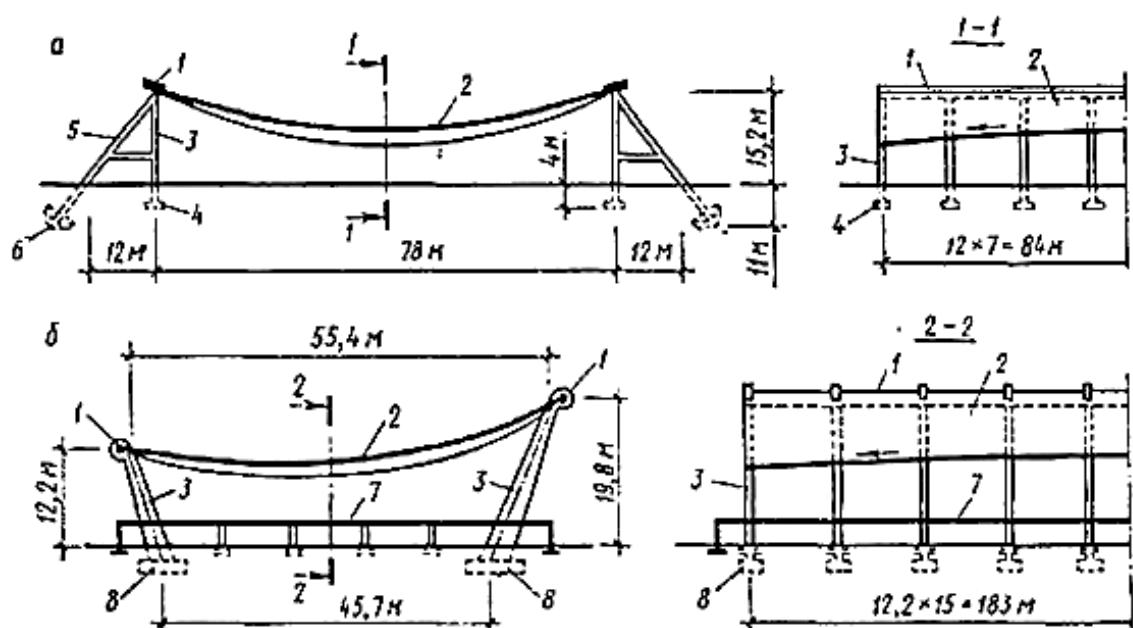


Рисунок 3.78 – Висячие оболочки на прямоугольном плане:

а– над гаражом в г. Красноярске; б– оболочка над аэровокзалом в Чантилии (США):  
 1 – опорный контур; 2– висячая оболочка; 3 – опорная стойка; 4– фундамент; 5 – оттяжки, обетоненная как наклонная стойка; 6– анкер; 7 – перекрытие внутри здания; 8 – фундаменты под наклонными стойками

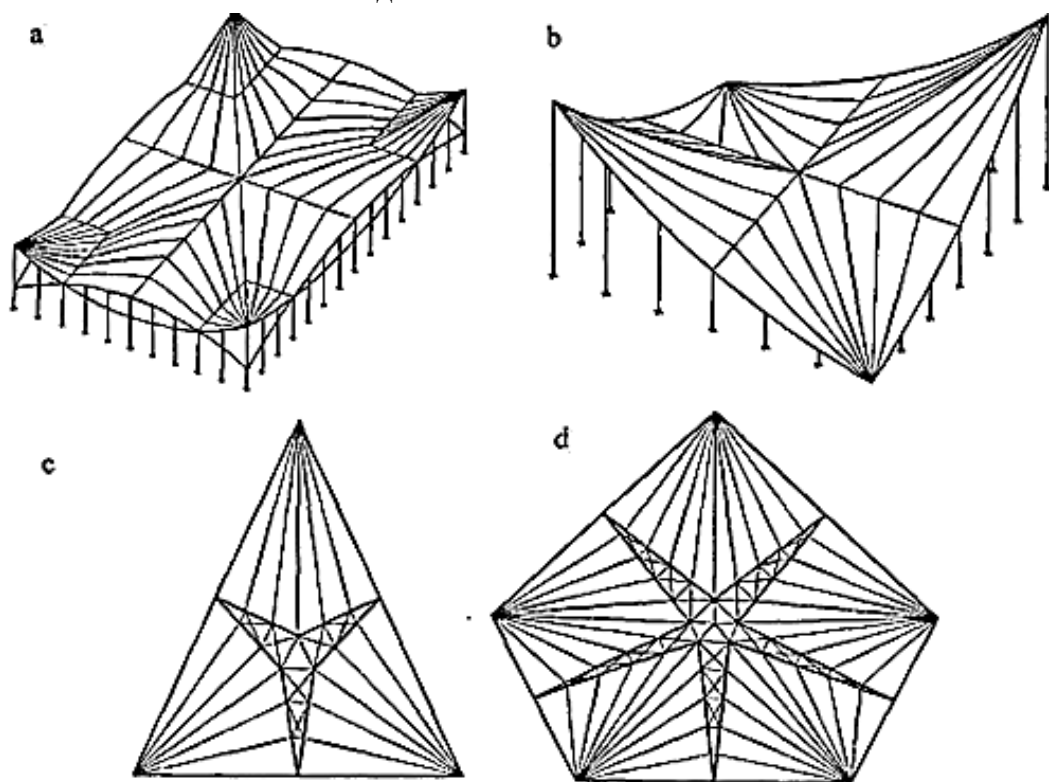


Рисунок 3.79 – Разновидности многополюсных радиальных вантовых систем:  
 а) двухпоясная; б) седловидная; в) на треугольном; д) на многоугольном плане

Стабилизация покрытия может осуществляться несколькими конструктивными приемами:

- центральным вантовым элементом, обладающим жесткостью в плоскости. При симметричных нагрузках работающим как изгибаемая в плоскости покрытия конструкция на многих упругоподатливых опорах. Закрепление концов “креста” от горизонтальных перемещений вдоль сторон прямоугольника фактически разбивает поверхность покрытия на четыре участка, самостоятельно работающих на равновесные паузки;
- применением жестких вант;
- созданием 2-х поясных систем.

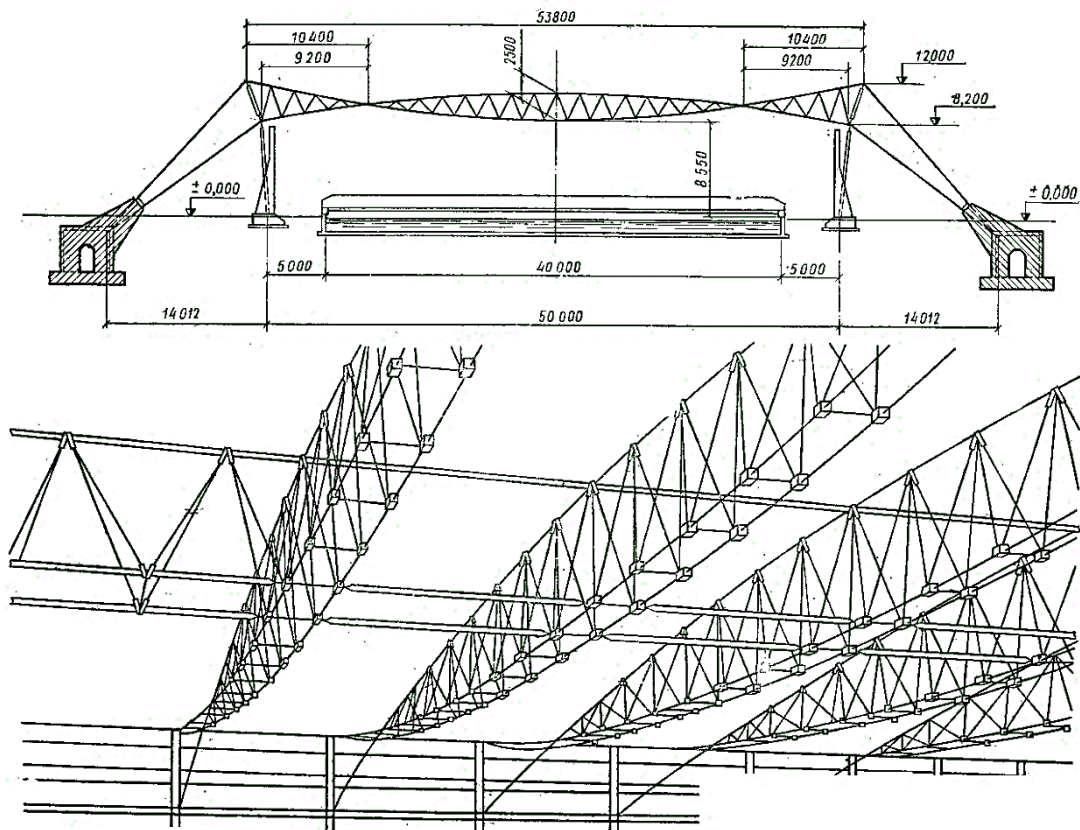


Рисунок 3.80 –Двухпоясное покрытие бассейна с прямоугольным планом в Италии пролетом 54 м, длиной 80 м тросовыми фермами треугольного сечения с пересекающимися поясами вблизи опор с двумя несущими тросами диаметром 48 мм, одним стабилизирующим тросом и распорками из труб диаметром 48,3 мм.

### 3.31 Стальные висячие решетчатые цилиндрические оболочки

Стальная стержневая конструкция цилиндрической висячей оболочки проектируется из условия способности работы ее стержней не только на растяжение, но и на сжатие, а вся поверхность оболочки на сдвиг в своей плоскости.

Основное отличие стержневой оболочки от мембранной заключается в том, что мембрана не способна работать на сжатие, вследствие чего у нее появляется ярко выраженный бортовой элемент. Эти отличия приводят и к значительным различиям в напряженно-деформируемом состоянии, т.е. стержневую оболочку нельзя рассматривать как проксимацию мембраной.

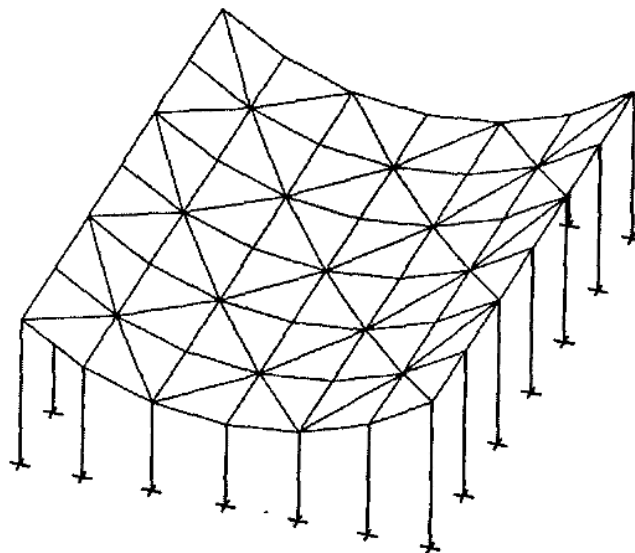


Рисунок 3.81

Висячую стержневую оболочку можно скорее рассматривать как стержневую аппроксимацию цилиндрической пластины (висячей железобетонной оболочки).

Все цилиндрические оболочки могут быть разбиты на 2 класса: с опорами по сторонам (рисунок 3.82) и с опорами по 2-м сторонам с криволинейными бортами.

Поскольку прямолинейная кромка оболочек 2-го типа должна быть обеспечена от устойчивости, то такие оболочки обычно бывают многоволновые, либо борт разрезается системой диафрагм и ребер. Прямолинейный борт висячей стержневой оболочки является внешней сжатой кромкой условного, расположенного в поверхности оболочки, опорного ребра.

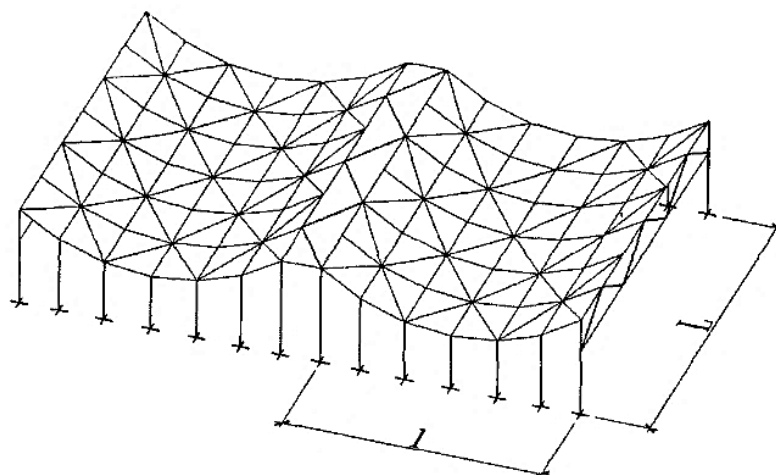


Рисунок 3.82

Важной причиной, определяющей шаг диафрагм жесткости, является также уменьшение пролета этого условного опорного ребра и соответственно уменьшение усилий в стержнях оболочки.

Длинная цилиндрическая висячая оболочка может рассматриваться как балка пролетом  $L$  (прямолинейное направление цилиндрической оболочки) и сечением шириной  $l$  (поперечное направление цилиндрической оболочки). Предварительный расчет такой оболочки может вестись как балки со сложным поперечным сечением.

Ребра в длинных висячих стальных оболочках ставятся также для обеспечения кинематической жесткости и уменьшения усилий при несимметричных относительно продольной оси оболочки загрузках.

С точки зрения статической работы конструкции сплошная решетка с треугольной ячейкой является оптимальной, однако монтаж такой оболочки весьма трудоемок и требует большого количества временных опор.

Конструкция висячей оболочки, позволяющая возвести ее без временных опор, была разработана для проекта легкоатлетического манежа в г. Горьком.

Покрытие манежа представляет собой стальную висячую цилиндрическую оболочку прямоугольной формы в плане размерами 114х42 м, стрела провисания 5,5 м.

По длинным сторонам оболочка опирается на сборные железобетонные колонны, расположенные с шагом 6 м, по коротким сторонам – на кирпичные стены.

Оболочка разбита на четыре отсека длиной по 24 м, между которыми располагаются пространственные распорки шириной по 6 м, выполняющие функции световых фонарей. Элементы ферм выполняются из стальных прокатных профилей. Настил покрытия выполнен из стальных профилированных листов с эффективным утеплителем.

Каждый отсек оболочки представляет собой стержневую систему со стержнями, расположенными по прямолинейным образующим, и стержнями, расположенными под углами к главным осям оболочки. Такая форма решетки оболочки обеспечивает ей значительную жесткость в своей плоскости и, следовательно, кинематическую устойчивость оболочки при неравномерных загрузках. Конструктивно эта оболочка осуществляется из плоских форм, лежащих в поверхности покрытия.

Основные растягивающие усилия воспринимаются наклонными элементами решетки, а жесткость оболочки в своей плоскости обеспечивает перетекание усилий к пространственным распоркам или железобетонным поясам на опорных кирпичных стенах.



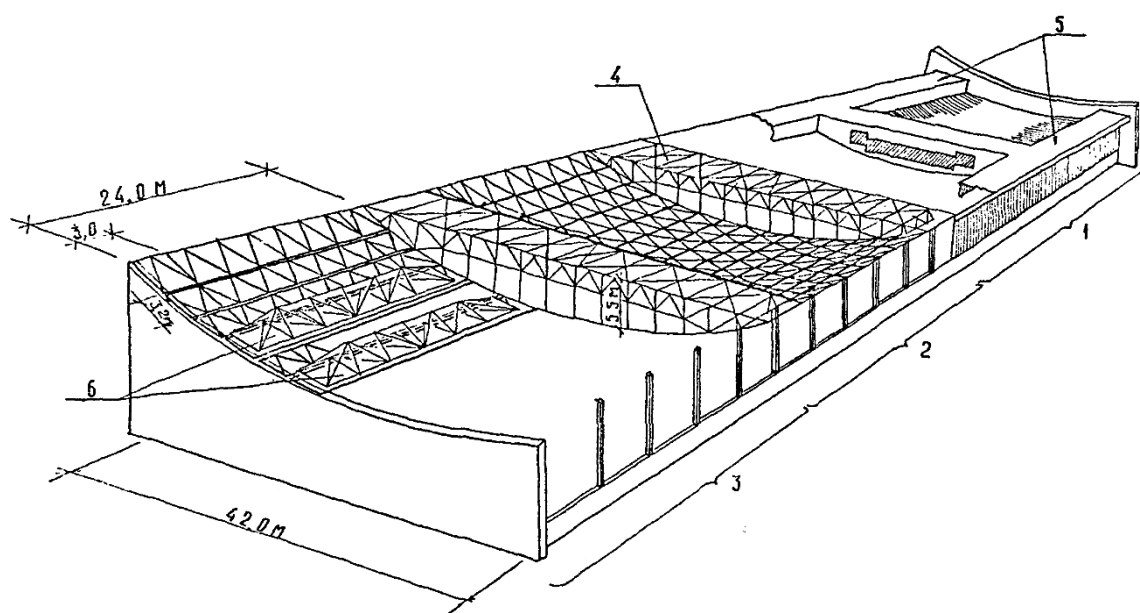


Рисунок 3.83 – Общий вид конструкции покрытия:

1 – законченная часть покрытия; 2 – смонтированные несущие конструкции покрытия; 3 – монтируемая часть покрытия; 4 – пространственная распорка; 5 – служебные помещения; 6 – монтажные траверсы

С учетом условия минимума временных монтажных конструкций принят следующий порядок монтажа оболочки. На колонны наружных стен устанавливаются пространственные распорки. С помощью пространственной траверсы монтируется крайняя ферма. Траверса жестко, на болтах, крепится к ферме и остается на ней до определенной времени. Затем с помощью траверсы монтируется следующая ферма. Между фермами монтируются и крепятся к ним отдельные элементы решетки. После монтажа этих стержней решетки образуется участок оболочки, способный работать самостоятельно, что делает возможным демонтаж траверсы с первой фермы. С помощью освободившейся траверсы монтируется следующая продольная ферма. Между ней и предыдущей фермой крепятся полигональные стержни. После этого участок, способный к самостоятельной работе, увеличивается на один модуль, и с предыдущей фермы снимается траверса. Этот цикл повторяется, пока не будет смонтирована вторая крайняя ферма.

Таким образом, с помощью двух монтажных траверс без промежуточных опор монтируется все покрытие.

### 3.32 Сетчатые стальные конструкции

Сетчатые стальные системы можно рассматривать как стержневую аппроксимацию мембранных систем и всевозможных железобетонных оболочек.

Основным достоинством сетчатых оболочек является возможность устройства из них светопрозрачных покрытий.

Возможно применение сетчатых оболочек для возведения сооружений башенного типа. Наиболее известной башней с сетчатой конструкцией является телебашня Шусова в Москве.

Самым важным конструктивным узлом в сетчатой оболочке является стык стержней в узле. Возможны варианты со сваркой в узле элементов решетки. На рисунке 3.84 показан сварной стык сплюснутых на концах труб.

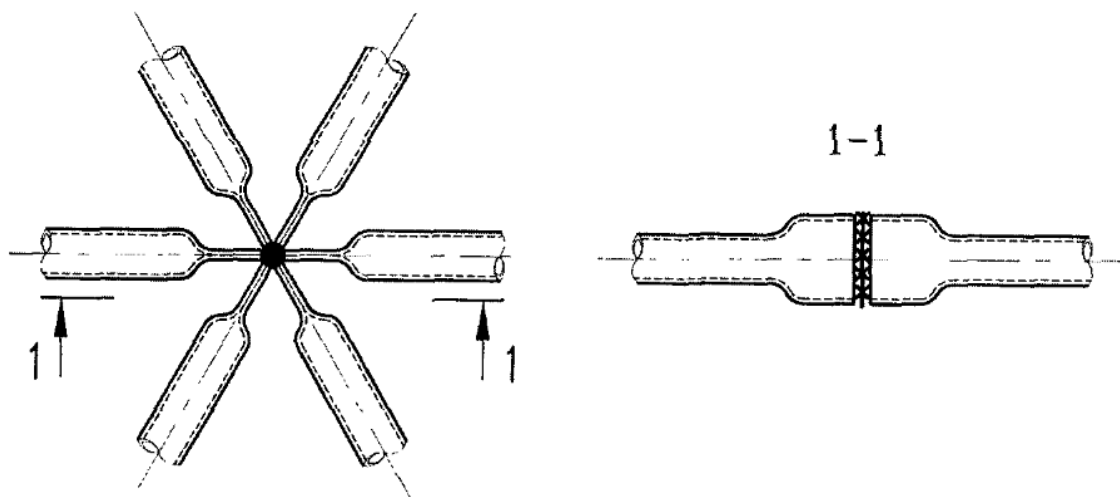


Рисунок 3.84

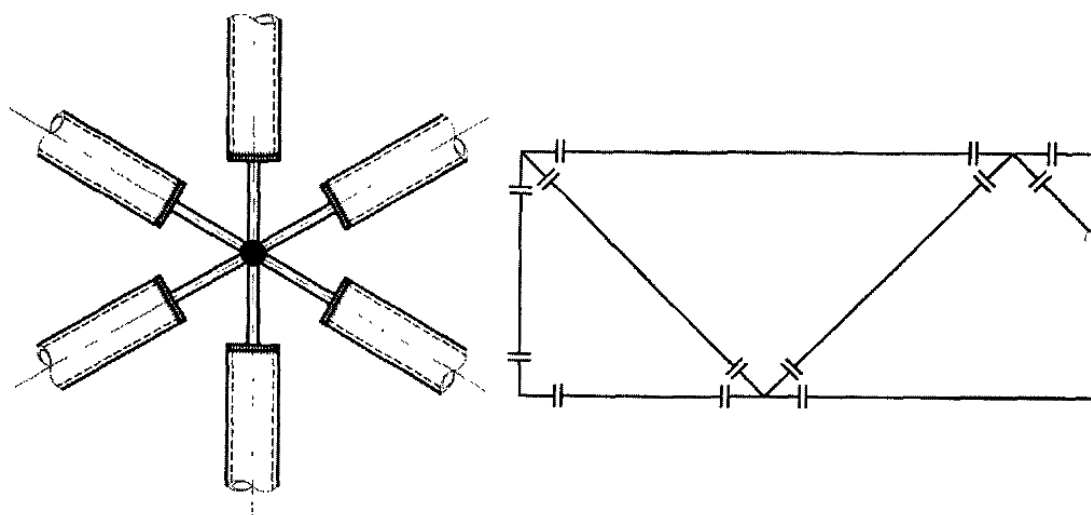


Рисунок 3.85

Рисунок 3.86

Возможен и иной болтовой фланцевый стык. Однако, если сварные стыки допускают изготовление элементов сетки с некоторыми допусками, то фланцевый стык требует нулевых допусков. Исключение составляют только статически определимые стержневые системы или их элементы. Например, ферма на рисунке 3.85.

Такая форма при изменении длины некоторого элемента на 1–2 мм (считая узлы шарнирными) только слегка исказит свою проектную форму без изменения усилий.

Сетчатые оболочки, имеющие большое количество узлов, являются статически неопределимыми системами, т.е. удаление одного или нескольких стержней не превратит её в механизм. Такие оболочки либо должны иметь стержни абсолютно точной длины, либо должно быть найдено конструктивное решение, обеспечивающее закрытие шва при минусовых допусках на длины элементов. Такое решение представлено на рисунке 3.86.

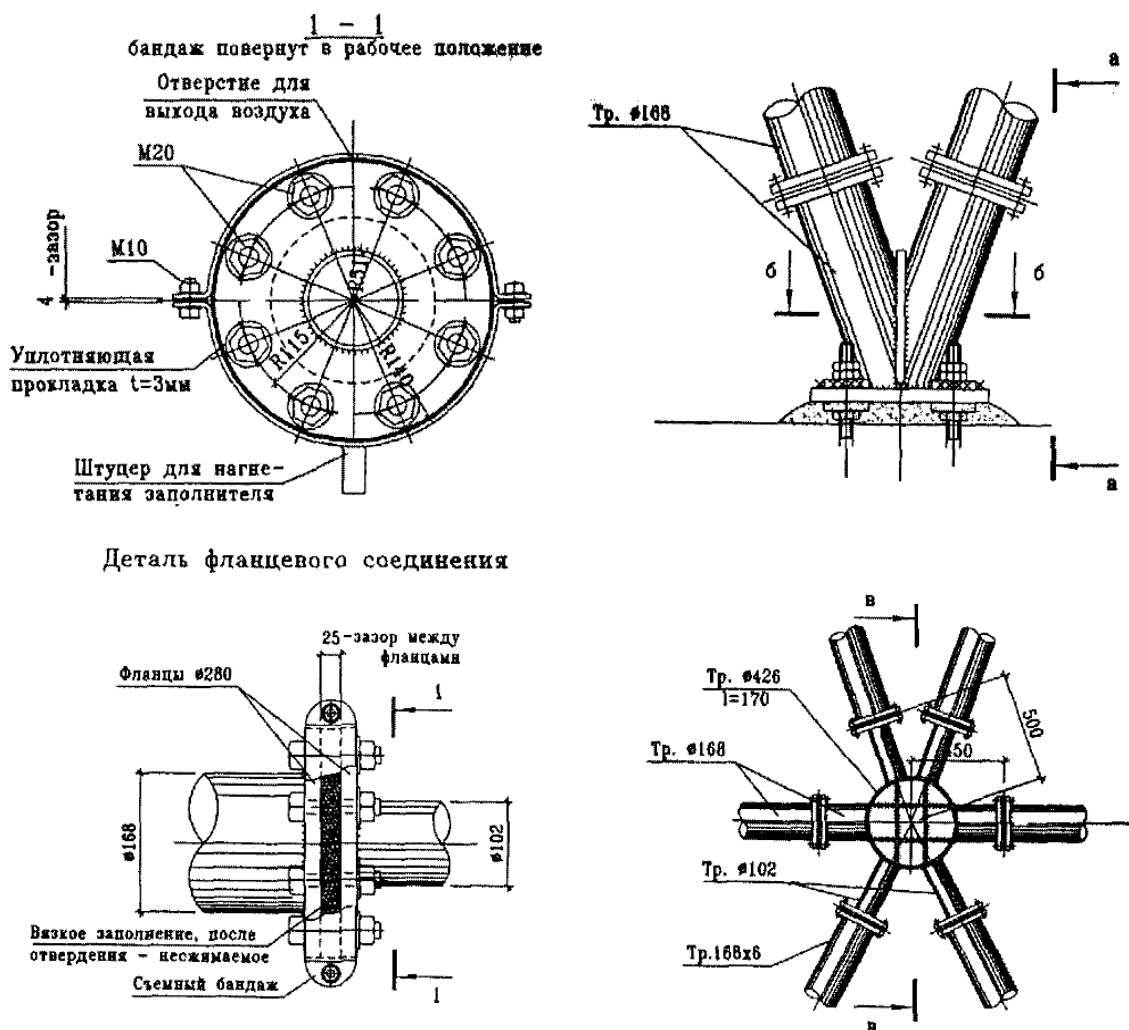


Рисунок 3.87.

### 3.33 Сетчатые кольцевые оболочки и башни

Для покрытия трибун стадиона «Динамо» в Москве была разработана стержневая кольцевая оболочка.

В основу проекта были положены следующие принципы:

- максимальное сохранение внешнего образа стадиона;
- покрытие всех трибун светопрозрачным козырьком;
- минимальные конструктивные внедрения в существующие трибуны.

Этим трем принципам отвечает конструкция козырька в виде кольцевой стальной сетчатой оболочки с опиранием на внешний край трибун. Опорные стойки имеют полый шарнир в точке опирания на трибуны и цилиндрический шарнир с осью вдоль фасада стадиона (в точках примыкания стоек к оболочке). Таким образом, обеспечивается общая устойчивость козырька с учетом ветровых нагрузок, смены температурных режимов.

Чтобы уменьшить отметку края козырька, чтобы не затенялось поле, и косой дождь не заливал первые ряды трибун, его конструкция разбита на две части: несущую и ограждающую. Ограждающая – это балочная клетка со светопрозрачным покрытием, подвешенная к несущей оболочке. Несущая конструкция – стальная сетчатая оболочка, состо-

ящая из наружного и внутреннего кольцевых элементов, объединенных раскосной решеткой.

Исследования показали, что оптимальная форма поверхности кольцевой оболочки на некруглых планах заключается в деформации её внутреннего контура.

При несимметричных нагрузках несущая оболочка начинает работать совместно с подвешенной балочной клеткой, что в сочетании с деформацией резко сокращает её деформативность и расход стали. Деформация оболочки для козырька стадиона «Динамо» – 7 метров.

**Проект стадиона «Спартак»** является новым строительством. Проект должен был удовлетворять следующим основным требованиям:

- стадион «Спартак» – чисто футбольный с вместимостью трибун до 80 тысяч человек;
- все зрительские места покрыты светопрозрачным стационарным козырьком;
- над футбольным полем устраивается трансформируемое светопрозрачное тентовое покрытие;
- помещения устраиваются под всеми трибунами;
- проект должен обеспечивать возможность ввода объекта очередями.

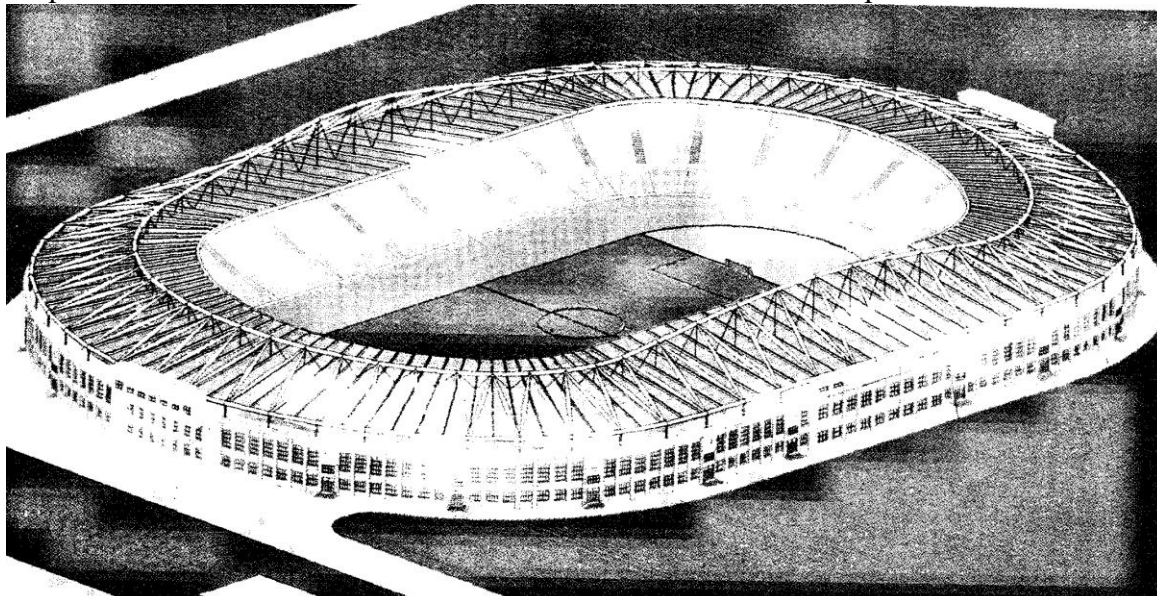


Рисунок 3.88. – Аксонометрическая схема покрытия стадиона «Динамо»

Формы трибун и их вместимость выявили габариты покрытия стадиона и его форму: овал с габаритами 280x250 м с прямоугольным отверстием в центре 110x70 м.

Покрытие над трибунами стадиона объединено в единую систему с опорными конструкциями по периметру сооружения.

Покрытие разделено на несущую и ограждающую конструкции.

Ограждающая конструкция, в виде стальной балочной клетки со светопрозрачным покрытием, подвешена к несущей и обладает минимально необходимым уклоном для стока воды. Это уменьшает затенение футбольного поля и заливание передних рядов косям дождем, улучшает вентиляцию арены. Упрощается также устройство прямоугольного отверстия 114x76 м над футбольным полем.

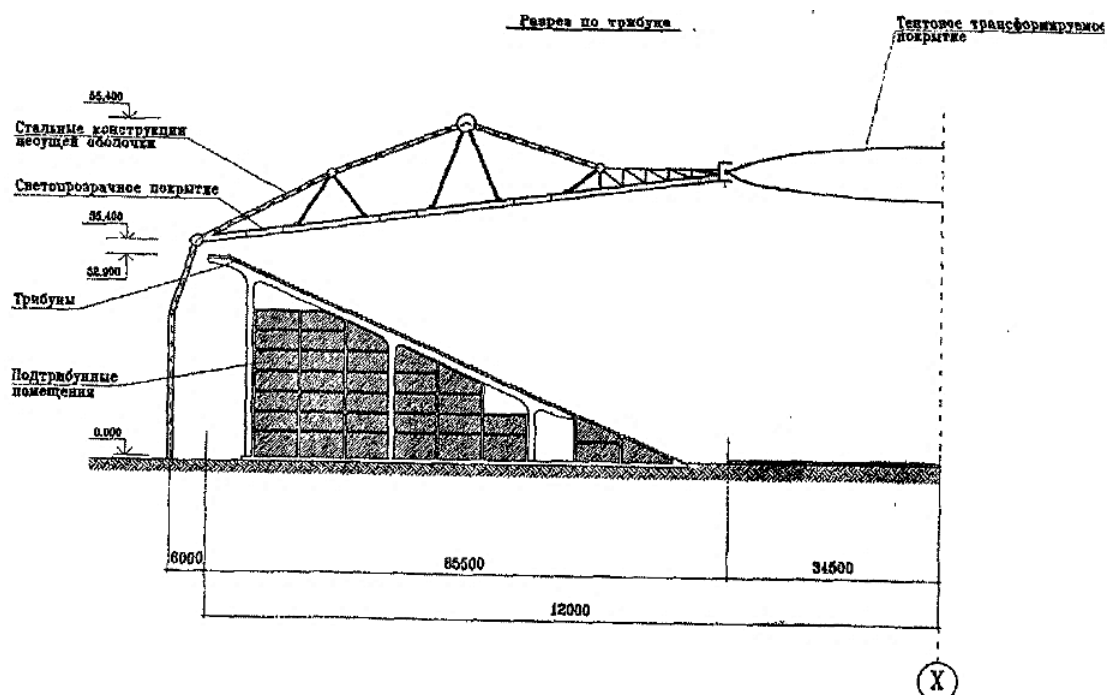


Рисунок 3.89. – Поперечный разрез по трибунам и покрытию стадиона «Спартак»

Несущая конструкция покрытия выполнена в виде сетчатой стальной оболочки, состоящей из опорного кольцевого элемента, двух промежуточных внутренних колец, соединенных треугольной решеткой.

Оптимизация поверхности сетчатой оболочки заключается в деформации её кольцевых элементов таким образом, что на участках с малой крутизной контура стрела подъема радиального сечения оболочки наибольшая, а на участках с большей кривизной – наименьшая. Для покрытия стадиона «Спартак» деформация верхнего кольца составляет 3,8 м. Оптимизация формы поверхности оболочки не только сократит расход стали, но и уменьшит её деформативность.

В центре светопрозрачного покрытия по контуру прямоугольного отверстия устанавливается стальная рамка со швеллерным сечением габаритами около

4,0x2,5 (h) м. В этой рамке крепится тентовая трансформируемая оболочка.

Тентовая оболочка представляет собой подушку с избыточным давлением. Подача в верхнюю часть объема тентовой оболочки теплого воздуха обеспечит таяние снега, то сделает покрытие всесезонным.

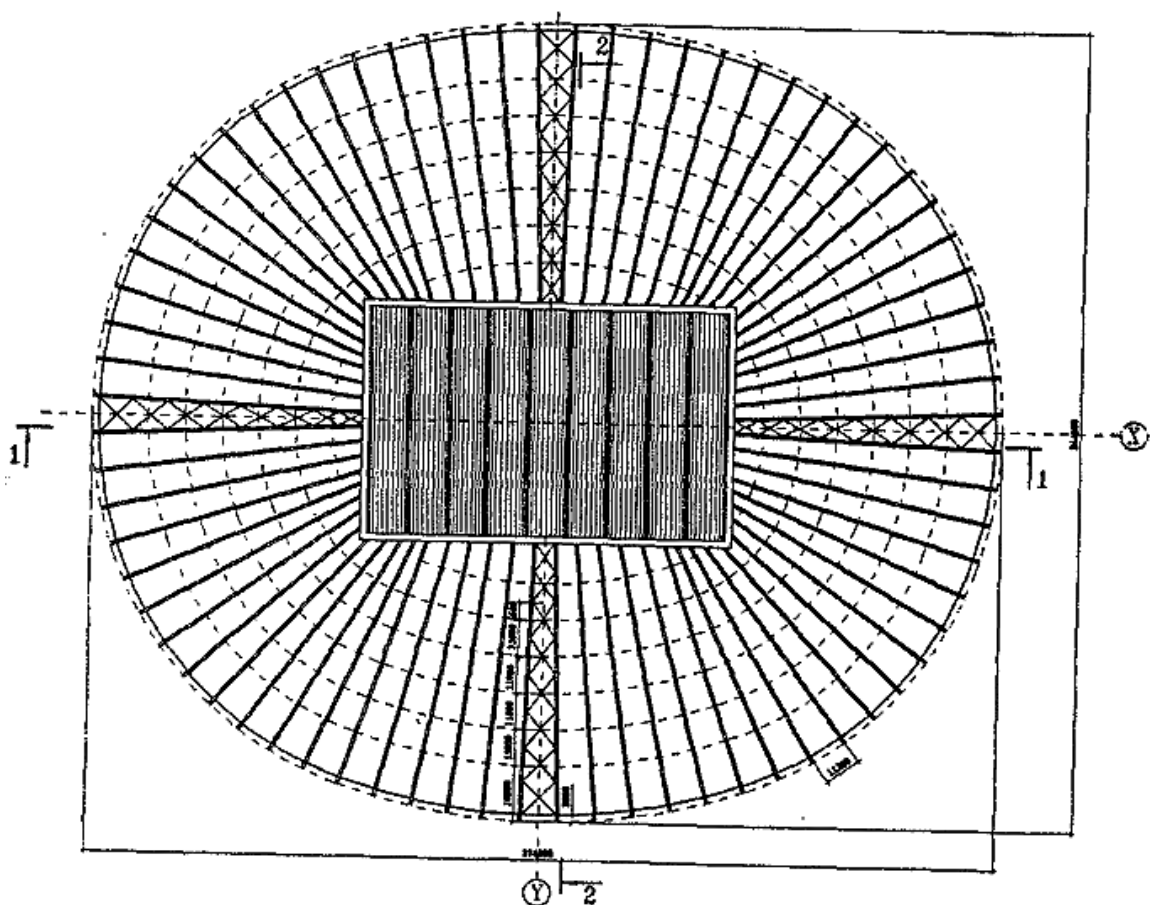


Рисунок 3.90 – План металлоконструкций подвешенного светопрозрачного покрытия стадиона «Спартак»

Монтаж металлоконструкций оболочки предполагается осуществлять на уровне земли и поднимать двенадцатью домкратами в проектное положение.

**Козырек над трибунами Олимпийского стадиона в г. Берлине** представляет собой сетчатую стальную кольцевую оболочку, к которой подвешена структура из радиальных балок с опирающейся на неё системой арок, на которые натянут светопрозрачный тент.

Вся конструкция передает только вертикальные опорные реакции на усиленные существующие пилоны.

Особенностью конструкции является архитектурное требование отсутствия опорного кольца и части элементов решетки между двумя пилонами входа на стадион. Эта задача решалась замыканием растянутого опорного кольца на реконструированную систему пилонов, объединенную под землей в единую швеллерную систему. Козырек опирается на основные фасадные столбы.

Возможно применение сетчатых оболочек для возведения сооружений башенного типа. Наиболее известной башней с сетчатой конструкцией является телебашня Шухова в Москве.

Для общественно-культурного центра в г. Сургуте разработан проект светопрозрачной конической оболочки башни диаметром 12 метров и высотой 35 метр (рис. 3.91).

Каркас оболочки – пространственно-стержневая статически неопределимая сетчатая конструкция. Монтажные соединения стержней – на фланцах. В такой конструкции добиться плотного прилегания фланцев без появления добавочных напряжений в системе

при затяжке болтов *практически невозможно*. Поэтому в данном проекте запроектирован фланцевый стык с зазором, заполняемым мелкозернистым безусадочным бетоном по специальной технологии.

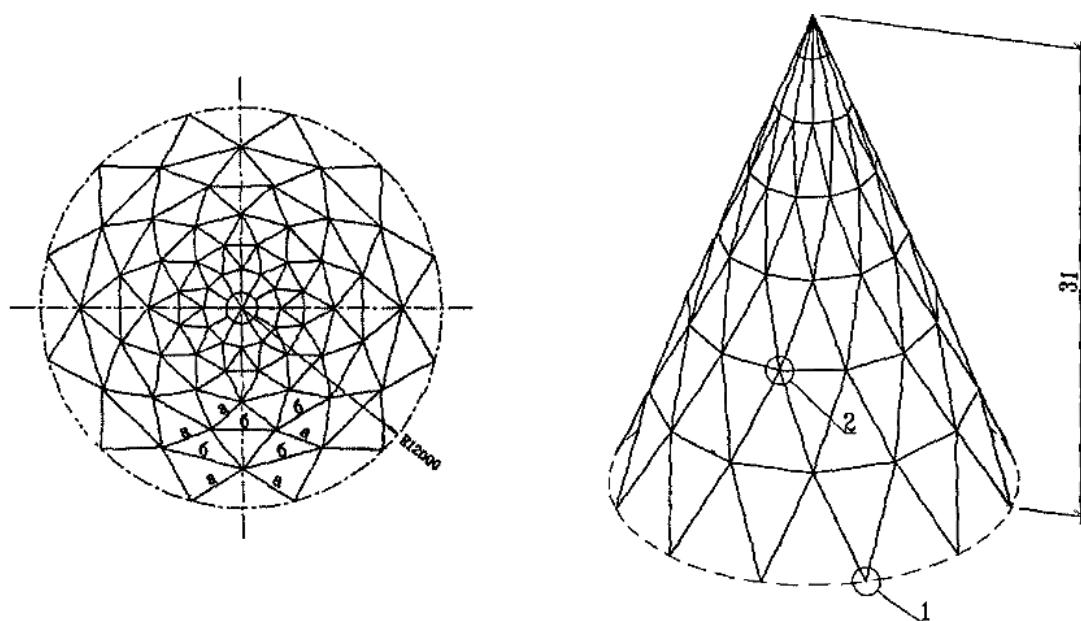


Рисунок 3.91 – Схема расположения элементов каркаса конуса

### 3.34 Радиально-кольцевые стержневые оболочки

Некоторые схемы радиально-кольцевых стержневых оболочек приведены ниже. Радиально-кольцевые стержневые оболочки могут быть весьма разнообразны по форме. Узлы таких оболочек лежат на поверхностях вращения (рисунок 3.92).

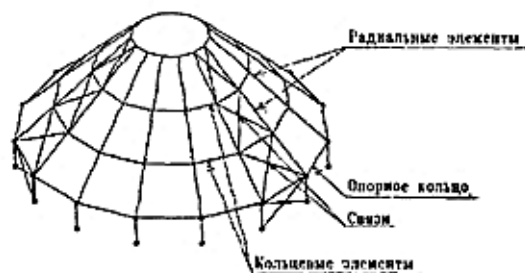
У оболочек с опорами по большой окружности (конус, сфера) все внутренние стержни (кольцевые и радиальные) сжаты, а опорное кольцо растянуто.

У оболочек с опорами по малой окружности (воронка) кольцевые элементы растянуты, а радиальные сжаты, опорное кольцо сжато;

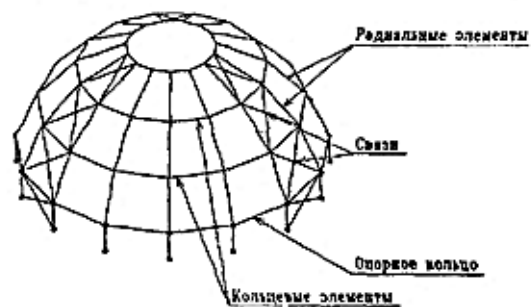
У висячих оболочек внутренние элементы растянуты, а опорное кольцо сжато.

Для восприятия несимметричных нагрузок радиально-кольцевые оболочки должны иметь либо жесткие узлы пересечения стержней, либо диагональные связи между центральным и внешним контуром.

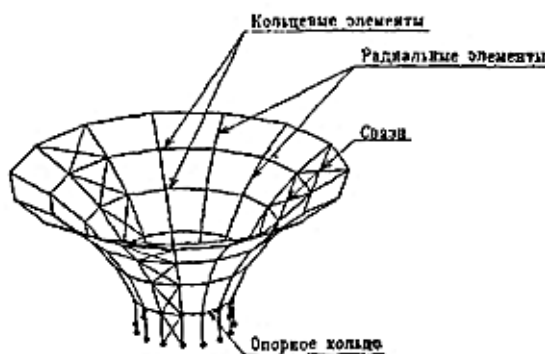
а конус



б сфера



в воронка



г висячая

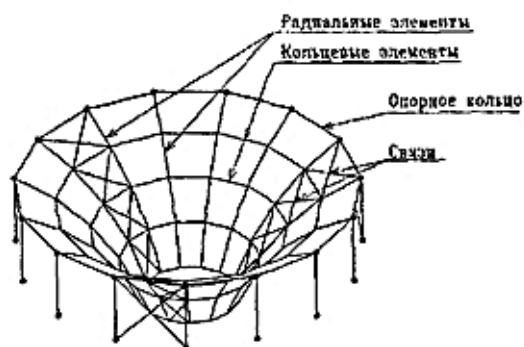


Рисунок 4.92

Радиально-кольцевые стальные оболочки могут быть использованы для различных покрытий: светопрозрачных, с накладной кровлей, а также в качестве жесткой арматуры железобетонных оболочек.

### 3.35 Мягкие оболочки

Мягкие оболочки – особый класс пространственных конструкций, выполненных из материалов, обладающих высокой прочностью при растяжении и практически неспособных к сопротивлению каким-нибудь другим видам напряженного состояния. В строительстве используют ткани с покрытием из синтетических смол или пленки, армированные сетками. Наиболее распространенный материал – ткани с покрытием, состоящие из текстильной силовой основы и изолирующего покрытия с обеих сторон в виде пасты или привариваемой пленки. Кроме прочности, водо- и воздухопроницаемости, к материалам предъявляется ряд дополнительных требований: долговечность, негорючесть, морозостойкость, умеренная стоимость и технологичность.



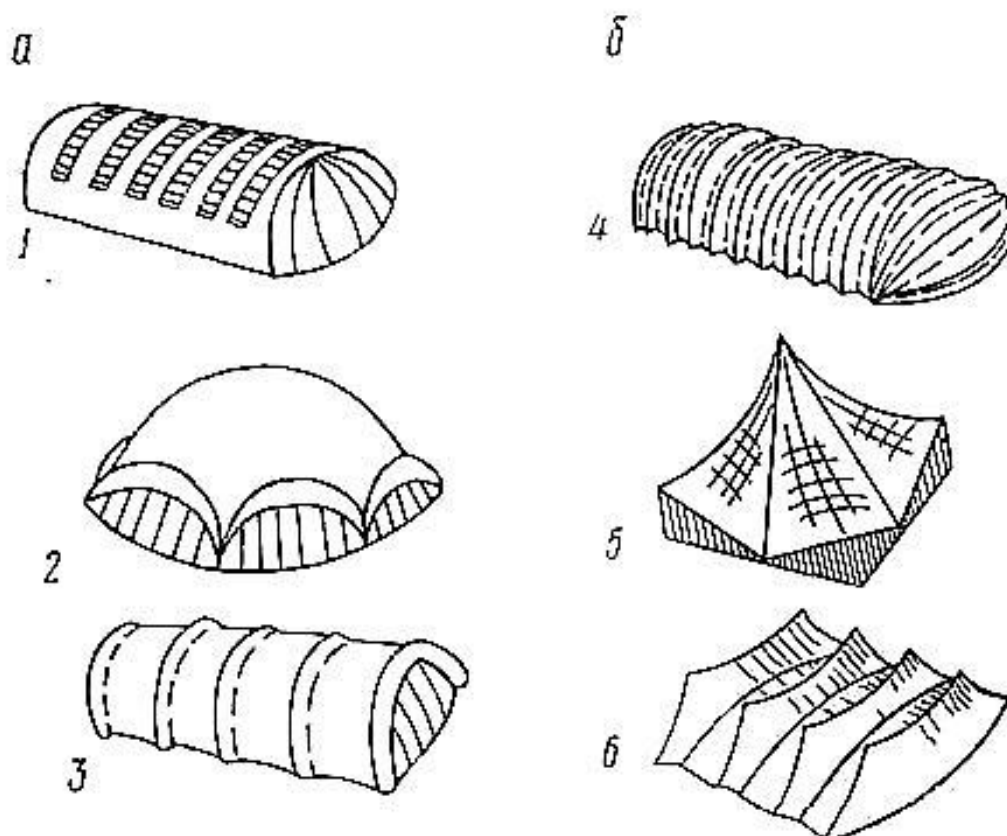


Рисунок 3.93 – Типы мягких оболочек:

а – пневматические; б – тентовые; 1 – воздухоопорная цилиндрическая;  
2 – воздухоопорная куполообразная; 3 – воздуонесомая; 4 – развертывающаяся;  
5 – палаточная; 6 – складчатая

Срок службы мягких оболочек невелик и составляет в среднем 7–10 лет. Оболочки уникальных сооружений делают из специальных дорогостоящих материалов (основа – стеклоткань, покрытие – политетрафторэтилен), они рассчитаны на эксплуатацию в течение 25–30 лет. Мягкие оболочки могут воспринимать внешние нагрузки только в состоянии предварительного натяжения. В строительных конструкциях оно может быть создано двумя способами: пневматическим и механическим. Первый способ приводит к созданию конструкций пневматических, второй – тентовых. Различают два вида пневматических конструкций: воздухоопорные и воздуонесомые. Существуют также и комбинированные конструкции, совмещающие признаки обоих типов. Воздухоопорная конструкция – это оболочка больших размеров, образующая целое здание. Поддерживается оболочка в состоянии способности противодействия внешним нагрузкам при сравнительно невысоком

(200– 500 Па) внутреннем избыточном давлении воздуха. Оболочка как бы опирается на множество невидимых колонн из сжатого воздуха, что и определило название – воздухоопорная (рисунок 3.93). Для подачи воздуха под оболочку используются вентиляторы низкого давления, большой производительности, действующие непрерывно. Сжатый воздух стремится поднять оболочку, оторвать ее от основания, чему препятствуют опорные (анкерные) устройства. Наличие избыточного давления в эксплуатируемом пространстве заставляет принимать меры против его падения при открытии ворот или дверей. С этой целью устраивают шлюзы – камеры с двойными воротами.

Формообразование таких оболочек подчинено физическим законам, т.е. форма должна соответствовать наибольшему объему, возможному при данном раскрое материала. И если материал малорастяжим, то образуются складки (морщины). В оболочке идеальной формы усилия от внутреннего давления воздуха одинаковы по всей поверхности и во всех направлениях (модель – мыльная пленка). Поскольку оболочки воздухоопорных сооружений работают на растяжение, величины их пролетов определяются только разрывной прочностью материала.

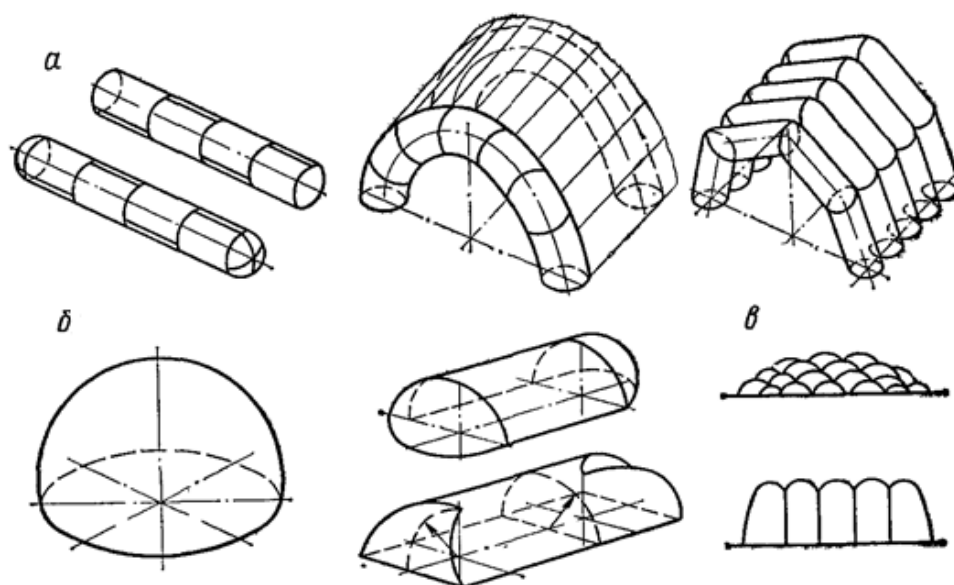


Рисунок 3.94 – Пневматические строительные конструкции:  
а – воздухонесомые (пневмокаркасы); б – воздухоопорные; в – воздухоопорные, усиленные канатами или сетками

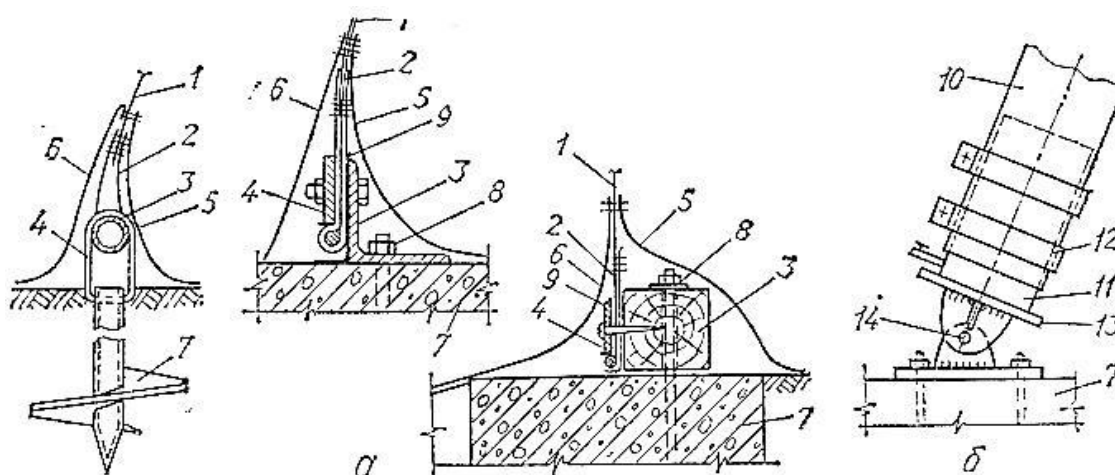


Рисунок 3.95 – Крепление пневмоконструкций к фундаменту:  
а – крепление оболочек; б – крепление пневмоарки; 1 – оболочка; 2 – кромка оболочки; 3 – распределительный элемент; 4 – прижимная планка (серьга); 5 – внутренний фартук; 6 – наружный фартук; 7 – фундамент (винтовая свая); 8 – анкерный болт; 9 – резиновая прокладка; 10 – тканевый цилиндр; 11 – стакан; 12 – хомуты; 13 – башмак; 14 – шарнир

Увеличение пролетов за счет повышения прочности материалов экономически целесообразно до 40–60 м. Перекрытие больших пролетов требует использования усиливающих канатов и сетей, принимающих на себя основные усилия растяжения, оставляя оболочке локальные функции перекрытия участков, ограниченных канатами. Расположение усиливающих элементов зависит от формы оболочки.

Основные достоинства воздухоопорных зданий:

1) малый расход материалов; 2) возможность перекрытия больших пролетов; 3) быстрота монтажа; 4) низкая стоимость; 5) транспортабельность; 6) невозможность обрушения.

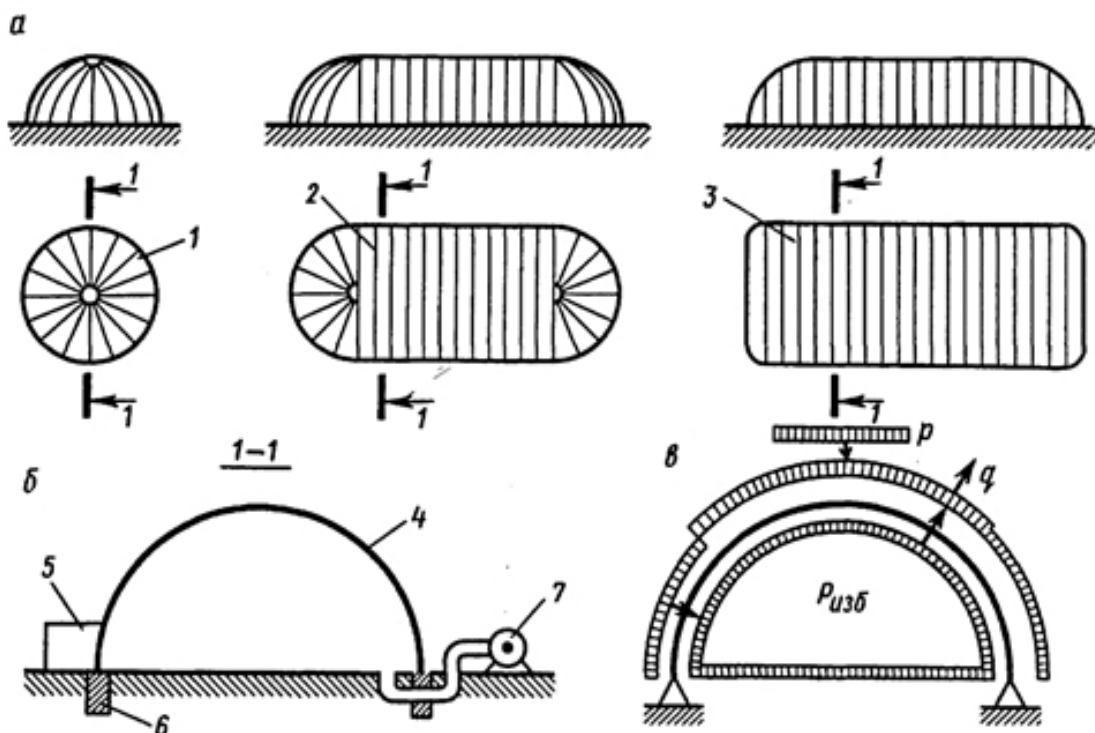


Рисунок 3.96 –Воздухоопорные конструкции – пневмооболочки:

а–общие виды; б–схема разреза; в–расчетная схема; 1–пневмокупол; 2–пневмосвод со сферическими торцами; 3–пневмосвод; 4–оболочка; 5–шлюз; 6–опорный контур; 7–воздуховодная установка

К недостаткам воздухоопорных зданий можно отнести:

- необходимость поддержания постоянного давления,
- недолговечность,
- трудность ввода и вывода крупногабаритной техники (обычно склады, хранилища),
- здания со сроком службы 7–10 лет, опалубка для бетонирования куполов). Уникальные покрытия над спортзалом из воздухоопорных оболочек.

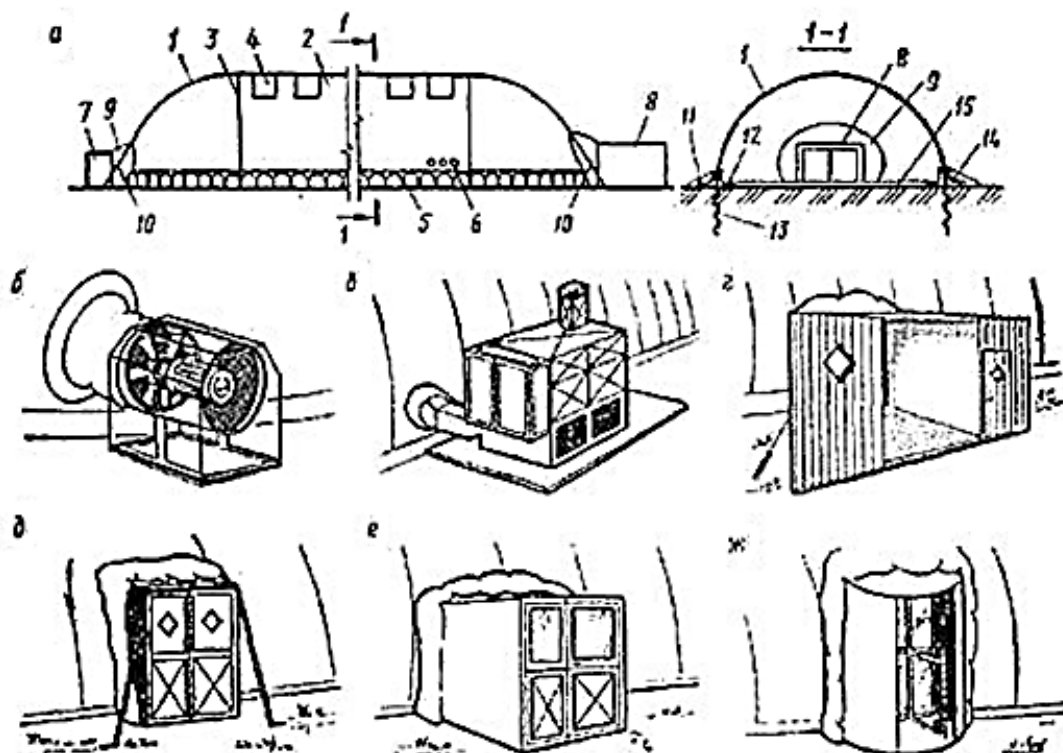


Рисунок 3.97 – Воздухоопорные оболочки и их элементы:

а – воздухоопорная оболочка; б – вентилятор, подающий воздух под оболочку; в – калорифер, подающий нагретый воздух; г – грузовой шлюз; д – шлюз, выдвинутый под оболочку; е – то же, снаружи оболочки; ж – шлюз с турникетом: 1 – торцевая секция оболочки; 2 – средняя секция; 3 – монтажный шов; 4 – светопрозрачные вставки; 5 – силовой, катенарный пояс; 6 – патрубки для подачи воздуха под оболочку; 7 – шлюз для людей; 8 – грузовой шлюз; 9 – переходники; 10 – разгружающий трос; 11,12 – фартуки, наружный и внутренний; 13 – анкер; 14 – присыпка; 15 – пол

**Воздухонесомые конструкции** в отличие от воздухоопорных, представляют собой не цельное здание, а только его конструктивные элементы – пневматические стержни (балки, стойки, арки, рамы) и панели. Пневмостержни используются как легкий каркас сооружений, обтягиваемый в дальнейшем мягким покрытием. Из пневмопанелей создают пространственные конструкции – своды, купола (см. рисунок 5.1). Несущая способность воздухонесомых конструкций (сопротивление сжатию, изгибу, кручению) обеспечивается высоким давлением воздуха в полностью замкнутом объеме. Высокое давление требует высокой степени герметичности. Другой недостаток воздухонесомых конструкций сводится к их высокой стоимости, в 3–4 раза выше, чем у воздухоопорных, а также ограниченности перекрываемых пролетов. Величина перекрываемых пролетов не превышает 18 м.

*Достоинства:* нет избыточного давления воздуха и отпадает забота о его поддержании, теплотехнические показатели панельных конструкций несравненно выше, чем у однослойных воздухоопорных оболочек.

К наиболее распространенным видам воздухонесомых конструкций относятся пневмоарки. Их экономически обоснованные пролеты находятся в пределах

10–20 м, хотя технические возможности гораздо шире. Например, в японском городе Осаке перекрыт выставочный павильон пневмоарками пролетом до 50 метров.

Первым документированным предложением по использованию воздушно-несомых конструкций в строительстве является изобретение «азробалки», представленное инженером И.А. Сумовским российскому Министерству путей сообщения в 90-х годах прошлого века. Известно также, что Сумовский запатентовал свое изобретение в США в декабре 1893 г.

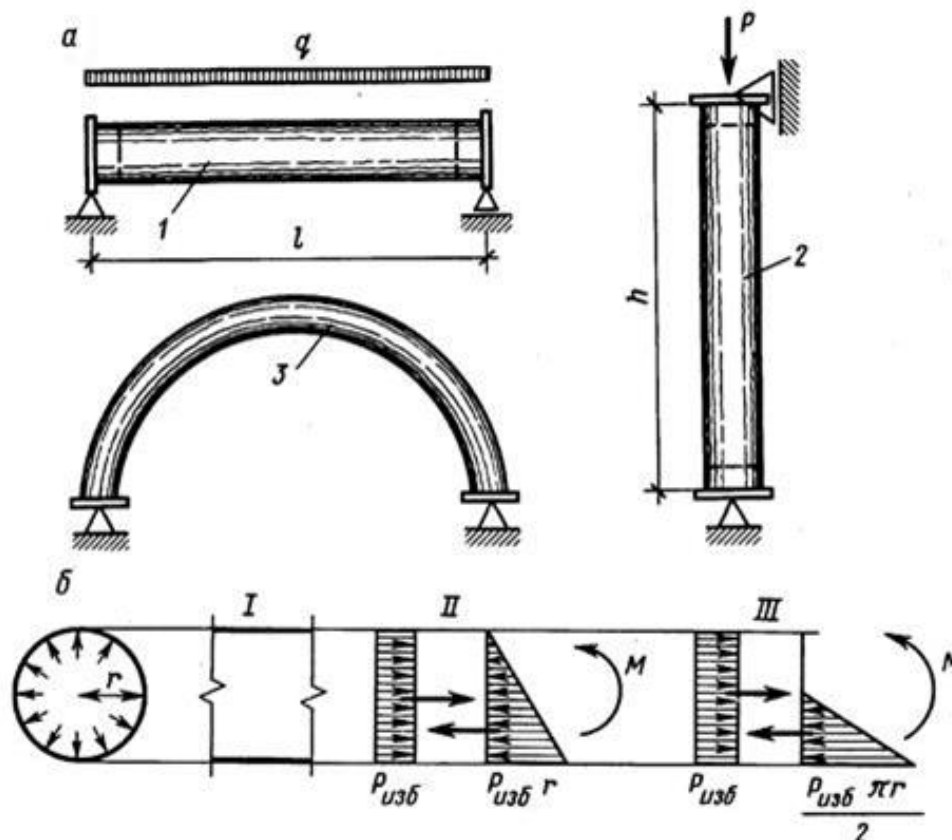


Рисунок 3.98 – Пневмокаркасные конструкции:  
а–пневмоэлементы; б–расчетные схемы; 1–пневмобалка;  
2–пневмостойка; 3–пневмоарка

Идея «азробалки» осеняла впоследствии многие умы. Некоторые идеи были реализованы, например палатка КанешигеНомура «Тент–модерн» размером

2х2х2 м с каркасом из четырех пневмостержней. Кстати, его сын РиотароНомура возглавляет сейчас «ТайоКогио» – крупнейшую в Японии и одну из ведущих в мире фирм по производству пневматических и тентовых конструкций. Подобные палатки (типа «Иглу») серийно производят в Англии с 1936 г. до сего времени.

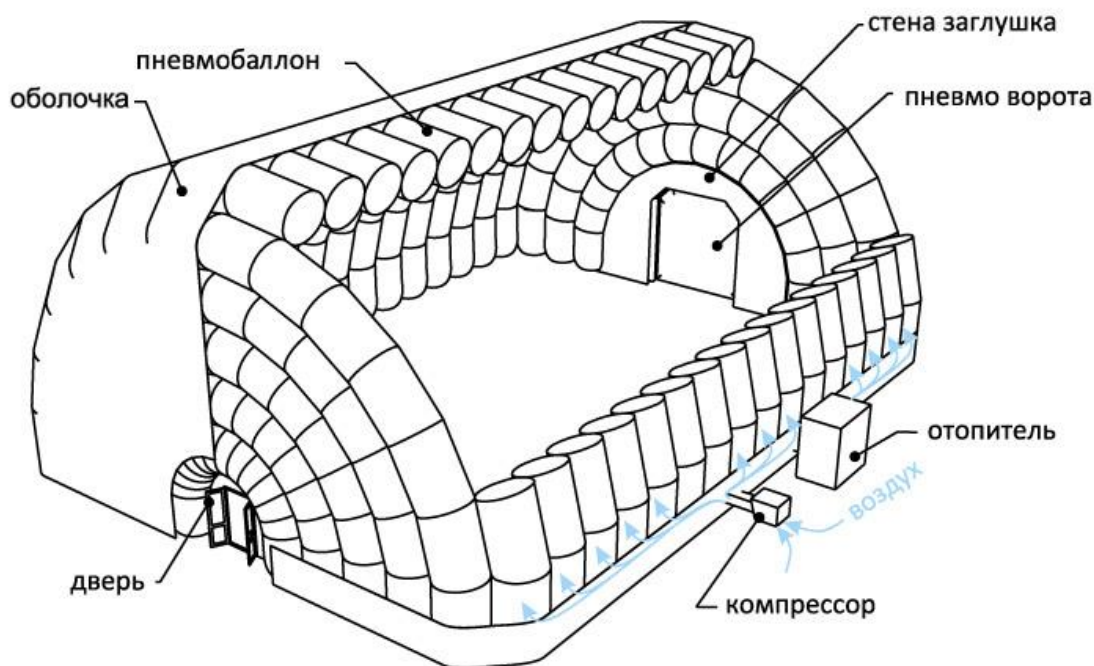


Рисунок 3.102

Говоря о пневматических конструкциях, нельзя не упомянуть имя проф. Г. И. Покровского, выступавшего с 1936 г. в печати с проектами зданий из пневмоостержневых и пневмолинзовых элементов. Сам автор тогда считал их фантастическими, но сейчас их уже можно назвать устаревшими и отнюдь не потому, что они были негодными, а просто действительность прошла через них и опередила их. Заметим, что изображенное им пневмолинзовое покрытие зала является первой публикацией этой идеи, которая в очень яркой форме была материализована фирмой Бэрдэйр в 1959 г. в виде покрытия над летним театром в Бостоне. После бостонского театра пневмолинзы в мировой строительной практике использовались неоднократно. Например, ими была перекрыта в 1974 г. целая торговая улица шириной 29,4 м и протяженностью 185 м в г. Марле, ФРГ. Однако размеры бостонского покрытия (диаметр 44 м) до сих пор остаются рекордными.

**Пневмовантовые оболочки** в большинстве случаев имеют такие же цилиндрические или сферические формы, как и воздухоопорные пневмооболочки, и состоят из таких же основных частей. Особенностью пневмовантовых оболочек является наличие в их составе вант, закрепленных на опорном контуре. *Ванты* — это, как правило, стальные тросы, оцинкованные для защиты от коррозии, но в качестве вант могут служить и канаты из полимерных волокон.

В пневмовантовом своде ванты располагаются в вертикальных плоскостях параллельно на равных расстояниях друг от друга. В пневмовантовом куполе они располагаются концентрически тоже на равных расстояниях в вертикальных плоскостях и сходятся в центре купола. В пневмовантовом куполе могут быть также промежуточные горизонтальные ванты, не имеющие контактов с опорным контуром, а закрепленные на осиночных вантах. В плоских горизонтальных пневмовантовых оболочках на прямоугольном контуре ванты образуют сетку из двух рядов параллельных вант, пересекающихся под прямыми или острыми углами. Под давлением тканевой оболочки ванты растягиваются и между

закреплениями принимают форму части дуги окружности.

Оболочка из воздухонепроницаемой ткани в этих конструкциях крепится не только к опорному контуру, как в воздухоопорных оболочках, но также и к вантам на всей их длине. При этом от действия внутреннего избыточного давления воздуха она растягивается и несколько выпучивается на площадях между вантами и приобретает многократно выпуклую, как будто «простеганную» вантами форму.

Следовательно, высокопрочные ванты работают на растяжение при наибольших пролетах, равных расстояниям между их опорными креплениями, и являются основными несущими элементами, в которых концентрируются максимальные растягивающие усилия пневмовантовых конструкций. А тканевая оболочка является в большей степени ограждающей конструкцией. Она работает на растяжение на небольших пролетах, равных расстояниям между вантами, передает на них местные части нагрузок и может изготавливаться из тканей невысокой прочности и стоимости.

Пневмовантовые оболочки могут иметь пролеты, значительно превышающие пролеты пневматических оболочек и превосходящие 100 м. В США, например, возведена пневмовантовая оболочка малой кривизны на прямоугольном опорном контуре с перекрестной системой вант размером 160x220 м в плане. В отечественном строительстве начинают применяться эти прогрессивные конструкции в первую очередь в складских зданиях.

**Пневмовантовый свод** является наиболее простой конструкцией этого класса. Воздухонепроницаемая ткань между соседними вантами под действием избыточного внутреннего давления и ветрового отсоса выпучивается наружу и приобретает форму изогнутого волнистого гофра. Этот гофр имеет два положительных радиуса кривизны – большой и малый. Большой радиус гофра имеет ту же величину, что и радиус кривизны вант и всей оболочки в целом, меньший радиус гофра зависит от величины выпучивания ткани между вантами и, кроме того, от следующих факторов. При изготовлении оболочки длина ткани между соседними вантами (шаг вант) может быть принята несколько большей, чем расстояние между ними. Это обеспечит возникновение начальной выпуклости ткани между ними. В процессе эксплуатации от действия растягивающих напряжений в ткани возникают деформации растяжения, ткань удлиняется и тоже выпучивается наружу. Величина этого вторичного выпучивания может меняться в зависимости от изменения действующих нагрузок. Во многих случаях для упрощения изготовления оболочки предусматривается ее выпучивание только за счет растяжения ткани. Величина радиуса такого выпучивания определяется в зависимости от шага вант и модуля упругости ткани.

Расчет пневмовантового свода производится на те же нагрузки от избыточного внутреннего давления воздуха  $p$  и ветрового отсоса  $w$ , что и пневмосвода аналогичных размеров. Растягивающие силы в вантах определяются с учетом радиуса их кривизны и шага. Сечения вант подбирают и проверяют при действии растягивающих сил и в соответствии с расчетной несущей способностью стального троса данного диаметра.

Напряжение в ткани при растяжении проверяется только в направлении ее меньшего пролета при радиусе ее выгиба  $r$ , значительно меньшем, чем радиус выгиба вант, на действие внутреннего избыточного давления  $p$  и ветрового отсоса  $w$  по формуле расчета пневмосвода.

Проверка напряжения в ткани в направлении большего радиуса оболочки не требуется, поскольку напряжения в этом направлении незначительны и не зависят от этого радиуса. Опорные крепления вант к фундаментам и сами фундаменты рассчитывают на действие растягивающих усилий.

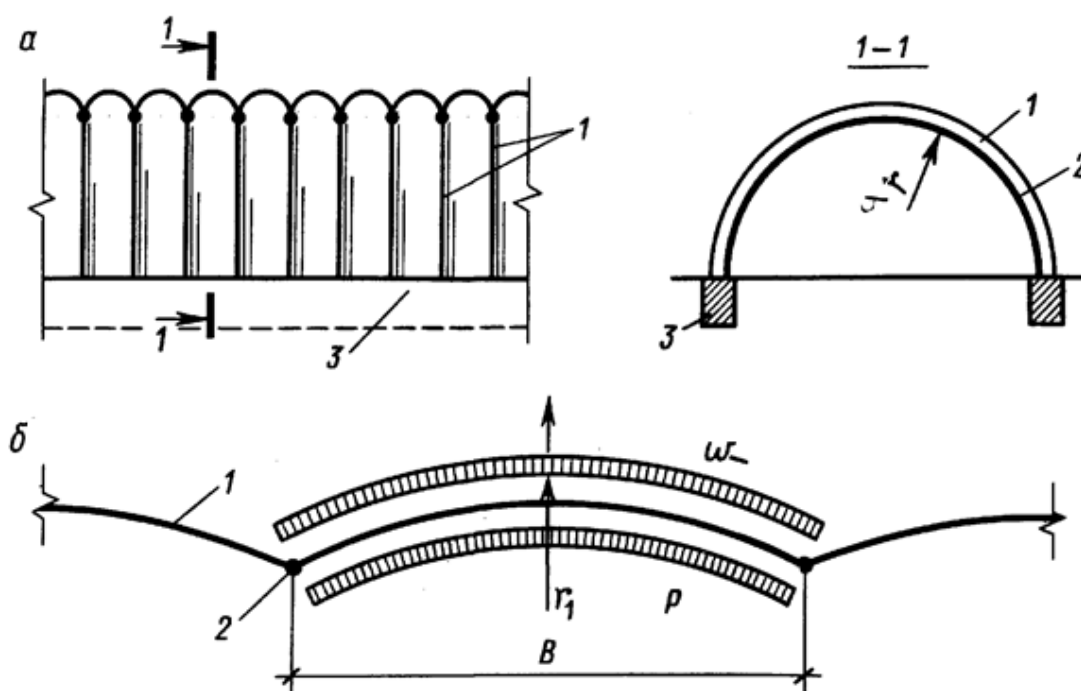


Рисунок 3.99. – Пневмовантовый свод (а) и схема работы оболочки (б):  
1–оболочка; 2–стальные винты; 3–фундаменты

**Тентовые покрытия**, будучи чрезвычайно легкими, очень чувствительны к ветровому воздействию, как положительному, так и отрицательному (+ и –). Тент, натянутый на плоский контур или закрепленный в точках, лежащих в одной плоскости, неустойчив под воздействием ветра и «полощет», что приводит к износу материала. Поэтому поверхность тента должна быть натянутой, чтобы тент в равной степени сопротивлялся нагрузкам противоположных направлений. Такими являются оболочки с поверхностью отрицательной гауссовой кривизны. Они испытывают двухосное растяжение. При приложении нагрузки любого знака натяжение по одной из осей возрастает (не доходя до разрывного), а по другой – уменьшается (не доходя до 0). Этим обеспечивается жесткость формы тента, стабильность его поверхности. Тент может существовать, будучи закрепленным в 3-х точках и туго натянутым, однако при этом он будет нестабильным. Условия стабильной формы требуют наличия 4-й точки прикрепления, не лежащей в плоскости трех остальных. Эта 4-я точка может находиться на контуре оболочки или внутри нее также с замкнутым плоским контуром. Тентовым покрытиям свойственно бесконечное многообразие форм. При проектировании поверхности тентового покрытия предполагают, что опорные конструкции обеспечивают равномерное натяжение оболочки во всех направлениях.

"Экспо–2010" в Шанхае (рисунок 3.100), перекрывающую 65000 м<sup>2</sup> плана. Это сооружение длиной 1000 м и шириной 100 м. Оно спроектировано фирмой SBA из Штутгарта, Германия. Тент представляет собой долговечный высокопрочный политетрафлуороэтиленовый со стеклянными волокнами материал фабричного изготовления (*polytetrafluoroethylene-coated glass fabric*). Тент поддерживается 19 внутренними и 31 внешней трубчатыми мачтами, расстояния между которыми – около 100 м. Ветровая нагрузка воспринимается тросами спиральной навивки. Внутренние мачты заглублены в



грунт и опираются на бетонные фундаменты. Основная вертикальная нагрузка приходится на них.

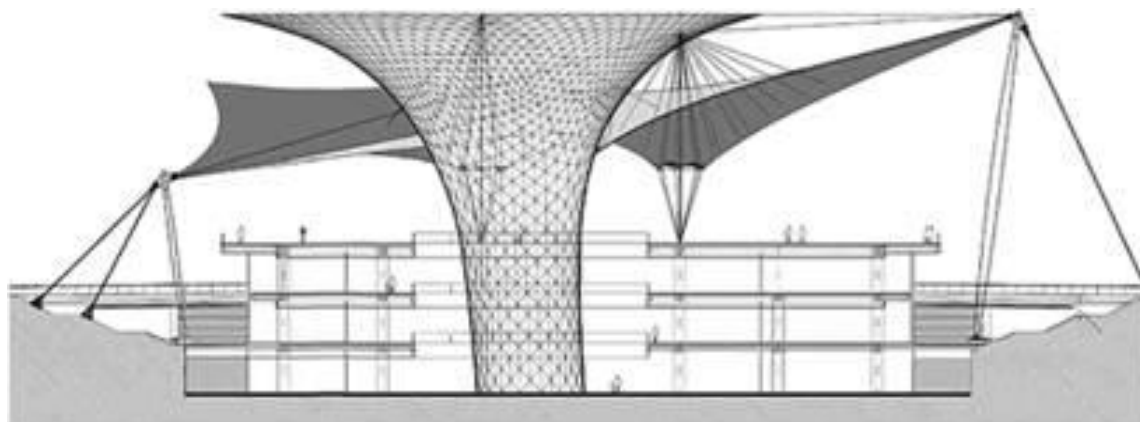


Рисунок 3.100. – Экспо Шанхай

Внешние мачты опираются на фундаменты кубической формы со сторонами, равными 8 м. Они воспринимают растягивающие усилия от стальных тросов. Дождевая вода, стекающая с покрытия, используется для полива и в туалетах. После окончания выставки сооружение продолжает эксплуатироваться. Согласно классификации тентовых сооружений павильон ExpoBoulevard относится к *бескаркасным тентовым сооружениям* (рисунок 3.100).

### Контрольные вопросы

1. Что такое пространственные конструкции?
2. Назовите основные типы пространственных покрытий.
3. Какой материал служит для создания перекрестных несущих конструкций?
4. Назовите преимущества и недостатки перекрестных систем из металла?
5. Что такое структурно стержневые конструкции?
6. Назовите недостатки и достоинства структурных конструкций.
7. На основе какого узла был создан узел «МАрхи»?
8. Что такое свод?
9. Какие пролеты перекрываются сводами?
10. Назовите виды сечений сводчатых покрытий.
11. Виды сводов?
12. Из каких материалов делаются своды?
13. Что такое оболочка?
14. Назовите три основных элемента оболочки.
15. По статическому признаку, на какие подгруппы подразделяются оболочки?
16. Назовите виды оболочек.
17. Как происходит опирание плит оболочек?
18. Виды плит оболочек?
19. Что такое оболочка вращения?
20. Какие пролеты перекрывают купола?
21. Назовите конструктивные схемы купольных покрытий.
22. Виды куполов?

23. Что такое геодезический купол?
24. Вилы цилиндрических оболочек?
25. Какие пролеты перекрываю длинные цилиндрические оболочки?
26. Назовите недостатки длинных цилиндрических оболочек.
27. Чем характеризуются короткие оболочки?
28. Как образуются шедовые конструкции?
29. Какие пролеты перекрывают шедовые оболочки?
30. Назовите виды шедовых оболочек?
31. Что такое складки?
32. Назовите виды складок?
33. Что такое конические оболочки?
34. Для каких пролетов применяются сборно-монолитные своды?
35. Что такое сотовый монолит?
36. Что такое мембранная оболочка?
37. Что такое комбинированные оболочки?
38. Что такое сетчатые стальные конструкции?
39. Какие пролеты перекрывают висячие стержневые системы?
40. Недостатки висячих систем?
41. Виды висячих систем?
42. Назовите виды стабилизации вант.
43. Что такое мягкие оболочки?
44. Назовите типы мягких оболочек?
45. Каков срок службы мягких оболочек?
46. Назовите преимущества и недостатки мягких оболочек?
47. Назовите виды пневматических конструкций.
48. Что такое воздухоопорная конструкция?
49. Что такое воздхонесомая оболочка?
50. Что такое пневмовантовые оболочки?
51. ЧТО такое пневмовантовый свод?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лопатто А.Э. Пролеты, материалы, конструкции.-: Стройиздат, 1982.-196 с., ил.
2. Канчели Н.В. Строительные пространственные конструкции. Учебное пособие. – М.: Издательство АСВ, 2003. – 112 стр.
3. Конструкции покрытий зальных помещений: методические указания для самостоятельной работы студентов / О.Л. Викторова, Л.Н. Петрянина, С.В. Зворыгина. Ю.А. Матиева; под общ.ред. д-ра техн. наук, проф. Ю.П. Скачкова. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 60 с.
4. Архитектура гражданских и промышленных зданий: Гражданские здания [Текст]: учеб.для вузов/ под общ. ред. А.В. Захарова. – М.: Стройиздат, 1993. – 509 с.
5. В.Н. Голосов, В.В. Ермолаев, Н.В. Лебедева; под.ред. В.В. Ермолаева. Инженерные конструкции [Текст]: учеб.для вузов по спец. «Архитектура»/– М.: Высш. шк., 1991. – 408 с.
6. Конструирование гражданских зданий [Текст]: учеб.пособие / под общ. ред. И.А. Шерешевского. – Л.: Стройиздат, (1979) 2005. – 168 с.
7. Зверев А.Н. Большепролетные конструкции покрытий общественных и промышленных зданий [Текст]: – Л.: Стройиздат, 1998. - 60
8. Демина А.В. Здания с большепролетными покрытиями [Текст]: Учебное пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. университета, 2003. 88с.
9. Лебедева Н.В. Фермы, арки, тонкостенные пространственные конструкции.: Учебное пособие. – М.: «Архитектура-С». 2006. – 120 с., ил.
10. Архитектура сооружений с висячими покрытиями. Штолько В.Г. К., «Будивельник», 1979, с. 152
11. Дыховичный Ю.А.; Жуковский Э.З. Пространственные составные конструкции: Учеб. Пос. для студ. По спец. «Пром. и гражд. Строит.» - М.: Высш. Шк, 1989. – 288 с.: ил.
12. Г. Рюле, Э. Кюн, К. Вайсбах, Д Цайдлер. Пространственные покрытия (КОНСТРУКЦИИ И МЕТОДЫ ВОЗВЕДЕНИЯ). – М.: Стройиздат. 1973. 304 с.
13. Шерешевский И.А. Конструирование промышленных зданий и сооружений. Учеб. Пособие для студентов строительных специальностей. – М.: «Архитектура-С», 2005. 168 с., ил.
14. В.И. Колчунов, К.П. Пятикрестовский, Н.В. Ключева. Пространственные конструкции покрытий. Учеб.пособие – М.: «АСВ», 2008. 352 с., 122 ил.
15. Под общей редакцией д-ра тех. Наук проф. К.В. Саховского. Сборные тонкостенные пространственные и большепролетные конструкции. – М.: «Ленинград», 1969. 190 с.
16. С.В. Дятков, А. А.П. Михеев. Архитектура промышленных зданий. – 4-е изд., - М.: ООО «БАСТЕТ», 2006. – 480с. рис. 227, табл. 31, библиогр. 48 назв
17. СНиП 2.08.02-89\* Общественные здания и сооружения.
18. Купольные покрытия. Липницкий М.Е. Стройиздат. Ленинград. 1981 г.
19. ХайноЭнгель; предисл. Ральфа Рапсона; пер. с нем. Л.А. Андреевой. – М.: АСТ: Астрель, 2007. – 344 с.: ил.
20. ТоркатюкВ.И.Монтаж конструкции большепролетных зданий. – М.: Стройиздат, 1985. – 170 с., ил.
21. А. Казбек-Казиев. Архитектурные конструкции. - М.: Высшая школа, 1989. - 342 с.
22. Туманов, А. В. Железобетонные и металлические конструкции. Курс лекций / А.В. Туманов. - М.: Феникс, 2012. - 144 с

## КРАТКИЙ ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ

**Плоскостные покрытия** – конструкции, работающие только в одной вертикальной плоскости, проходящей через опоры.

**Пространственные** – покрытия, работающие одновременно в двух или нескольких направлениях.

**Распорные** – конструкции, у которых под влиянием собственной массы и внешних вертикальных нагрузок возникают на опорах помимо вертикальных еще и горизонтальные составляющие реакций, именуемые **распором**.

**Безраспорные** – конструкции, у которых горизонтальные составляющие опорных реакций отсутствуют.

**Балка** – Одноэлементная конструкция, нагружаемая по всему пролёту, одно из измерений которой (длина) существенно больше двух других измерений.

**Ферма** – Несущая конструкция, состоящая из стержней, расположенных в одной плоскости и соединённых между собой в узлах таким образом, что они образуют геометрически неизменяемую решётчатую систему.

**Рама** – Стержневая конструкция, состоящая из вертикальных элементов (стоек) и горизонтальных (ригелей), жёстко соединённых между собой в узлах.

**Арка** – Криволинейное перекрытие пространства между двумя несмещаемыми опорами.

**Структурами** – обычно называют системы стержней, сходящихся в узлах и расположенных в пространстве в строгом геометрическом порядке.

**Комбинированные оболочки** – (составные) представляют собой пространственные покрытия, поверхность которых образована совокупностью нескольких или многих элементарных поверхностей, пересекающихся между собой со скачкообразным изменением кривизны срединной поверхности по линии сопряжений.

**Мягкие оболочки** – особый класс пространственных конструкций, выполненных из материалов, обладающих высокой прочностью при растяжении и практически неспособных к сопротивлению каким-нибудь другим видам напряженного состояния.

**Воздухоопорная конструкция** – это оболочка больших размеров, образующая целое здание.

**Оболочками вращения называют (Купол)** такие пространственные конструкции, срединная поверхность которых образуется вращением плоской кривой или прямой линии (образующей) вокруг оси вращения, находящейся в плоскости образующей.

**Висячими называют** – все виды покрытий, у которых основная несущая конструкция, перекрывающая пролет, работает на растяжение.

**Вантовыми покрытиями** – Висячие покрытия, основанные на сочетании работы жестких опор и растяжении стальных тросов, стержней.

**Мембрана** – тонкая гибкая сплошная пластина, которая обладает весьма высокой прочностью на растяжение, но ничтожно малой, практически приближающейся к нулю изгибной жесткостью. Поэтому главное напряженное состояние мембраны – растяжение.

**Сотовый монолит** – конструктивная система на основе монолитного железобетона, в которой все элементы включены в работу целостной конструкции.

**Гауссова кривизна** – произведение главных кривизн  $-1/R_1 \cdot 1/R_2 = K$ , где  $R_1$  и  $R_2$  – максимальный и минимальный радиусы кривизны (главные радиусы кривизны) поверхности в главных нормальных сечениях. Поверхности, в каждой точке которых  $K$  положительна, отрицательна или имеет нулевое значение, называются соответственно поверхностями положительной, отрицательной и нулевой гауссовой кривизны.

**Предельная нагрузка**– нагрузка, отвечающая моменту исчерпания несущей способности конструкции. Она соответствует тому предельному моменту, когда конструкция еще находится в состоянии равновесия. Напряженное состояние всех элементов конструкции в такой стадии называется *состоянием предельного равновесия*.

*Конструкция исчерпала свою несущую способность*, если малое приращение внешней нагрузки способно вызвать непрекращающийся рост деформаций и последующее разрушение.

**Складка** –Пространственное покрытие, образованное плоскими взаимно пересекающимися элементами. Складки состоят из ряда повторяющихся в определенном порядке элементов, опирающихся по краям и в пролете на диафрагмы жесткости.

**Оболочка** –Пространственное покрытие ограниченное двумя криволинейными поверхностями, расстояние между которыми мало по сравнению с двумя другими размерами.

**Свод** - Пространственное покрытие образованное наклонными прямолинейными и криволинейными поверхностями.

**Тонкостенные пространственные системы**– конструкции, у которых два измерения одного порядка существенно превышают третье (толщину).

**Перекрестно-ребристые покрытия** - Пространственное покрытие образованное системой балок или ферм с параллельными поясами, перекрещивающимися в двух или трех направлениях.

**Стержневые конструкции** - Конструкции из находящихся в разных плоскостях и пересекающихся стержней из металлического профиля.

### Основные буквенные обозначения.

$N$ —нормальное усилие;  
 $M$ — изгибающий момент;  
 $Q$ —поперечная сила;  
 $F_v$ — вертикальная опорная реакция;  
 $F_h$ — распор;  
 $N_x, N_y$ — нормальные усилия на единицу длины оболочки, соответственно, в направлении осей  $x, y$ ,  
 $N_{xy}$  — касательные усилия на единицу длины оболочки;  
 $N_{m1}, N_{m2}$ — главные растягивающие и сжимающие усилия на единицу длины оболочки;  
 $N_1$  — усилие в оболочке купола по направлению меридиана на единицу длины кольцевого сечения (меридиональное усилие);  
 $N_2$  — усилие в оболочке купола по направлению параллели на единицу длины меридиана (кольцевое усилие);  
 $M_x, M_y$ — изгибающие моменты на единицу длины оболочки;  
 $M_0$ — изгибающий момент в куполе, действующий в меридиональном направлении на единицу длины;  
 $F_{h,0}$ — радиальный распор на единицу длины опорного кольца купола;  
 $N_0$ — растягивающее усилие в опорном кольце купола;  $x, y, z$ — декартовы координаты;  
 $L$ —пролет;  
 $f$ —стрела подъема;  
 $R$ —радиус кривизны;  
 $S$ —длина дуги;  
 $D$ —диаметр;  
 $r$ —радиус;  
 $t$ —толщина элемента;  
 $h$ —высота конструкции или высота сечения элемента;  
 $a, b$ — размеры элемента в плане;  
 $l_{ef}$ — расчетная длина элемента;  
 $\varphi$ —переменный угол в сечении оболочки (свода), отсчитываемый от вертикальной оси;  
 $\varphi_0$  — половина центрального угла дуги оболочки (свода);  
 $A$ —площадь поперечного сечения элемента;  
 $J$ —момент инерции сечения элемента;  
 $q$ —вертикальная равномерно распределенная нагрузка на единицу длины или площади поверхности;  
 $g$ —постоянная (длительная) равномерно распределенная нагрузка на единицу длины или площади поверхности;  
 $s$ —временная (снеговая) равномерно распределенная нагрузка на единицу длины или площади поверхности.

## ТЕСТЫ

### Раздел 1. Плоскостные конструкции

1. Большепролетные конструкции покрытий по их статической работе разделяются на две основ-ных группы систем большепролетных покрытий:Как называется одноэле-ментная конструкция, загружаемая по всему пролёту?
  - a) металлические и железобетонные
  - b) плоскостные и пространственные
  - c) оболочки и плиты
  - d) покрытия положительной и отрицательной гауссовой кривизны
2. К пространственным большепролетным конструкциям относят
  - a) рамы, фермы, перекрестные системы;
  - b) арки, своды, балки;
  - c) перекрестные системы, складки, шеды;
  - d) шеды, своды, арки.
3. К оболочкам нулевой гауссовой кривизны не относят
  - a) длинные оболчки;
  - b) короткие оболочки;
  - c) конические оболочки;
  - d) оболочки вращения.
4. Циклически симметричные пространственные конструкции,образующиеся из ря-да элементов отрицательной и положительной кривизны –
  - a) шедовые конструкции;
  - b) калдчатые конструкции;
  - c) зонтичные конструкции;
  - d) коноидальныеоболочки.
5. Тип строительной конструкции, при котором несущей основой служит простран-ственная секция из наклонных (под различным углом) балок с наружной стороны здания?
  - a) Фахверк;
  - b) Ригель;
  - c) стропила;
  - d) вантовая конструкция.
6. Если в центре кривизны дуг всех нормальных сечений, проходящих через одну точку, лежат по одну сторону поверхности, то поверхность будет
  - a) отрицательной гауссовой кривизны;
  - b) положительной гауссовой кривизны;
  - c) нулевой гауссовой кривизны;
  - d) срединной.
7. Покрытия, работающие одновременно в двух или нескольких направлениях называются:
  - a) пространственными;
  - b) плоскостными;
  - c) рамами;
  - d) структурами.
8. Жесткость, и прочность винтовых лестниц обеспечиваются:
  - a) затухающим изгибающим моментом в сечении лестницы;
  - b) растяжением опорного стержня;
  - c) шириной пандуса.
9. Сложность удаления воды с кровли является недостатком:

- a) оболочки отрицательной гауссовой кривизны;
  - b) оболочки положительной Гауссовой кривизны;
  - c) коноидальной оболочки;
  - d) цилиндрической оболочки.
10. Причиной, определяющей шаг диафрагм жесткости, является:
- a) уменьшение пролета условного опорного ребра и соответственно уменьшение усилий в стержнях оболочки;
  - b) увеличение пролета условного опорного ребра и соответственно уменьшение усилий в стержнях оболочки;
  - c) уменьшение пролета условного опорного ребра и соответственно увеличение усилий в стержнях оболочки;
  - d) увеличение пролета условного опорного ребра и соответственно увеличение усилий в стержнях оболочки.
11. Консольные свесы, образующиеся при постановке опор с некоторым отступом от контура покрытия, способствуют:
- a) снижению строительной высоты конструкции;
  - b) изменению кривизны срединной поверхности по линии сопряжений;
  - c) снижению величин изгибающих моментов в пролете;
  - d) перераспределению усилий в стержнях.
12. Облегчение кровельного покрытия и подвесных потолков достигается:
- a) нерегулярной расстановкой опор;
  - b) снижением строительной высоты конструкции;
  - c) малым шагом решетки;
  - d) частым расположением опорных точек в узлах.
13. Системы стержней, сходящихся в узлах и расположенных в пространстве в строгом геометрическом порядке, называют:
- a) конструкцией;
  - b) структурами;
  - c) сеткой;
  - d) покрытием.
14. Оболочками вращения называют:
- a) пространственные конструкции, срединная поверхность которых, образуется вращением плоской кривой или прямой линии (образующей) вокруг оси вращения, находящейся в плоскости образующей;
  - b) покрытия, пролетная часть которых образована сетью несущих гибких нитей с последующей укладкой на нее ограждающих элементов без обеспечения совместной работы их между собой и с опорным контуром;
  - c) пространственные покрытия, поверхность которых образована совокупностью нескольких или многих элементарных поверхностей, пересекающихся между собой со скачкообразным изменением кривизны срединной поверхности по линии сопряжений;
  - d) пространственные конструкции, пролетная часть которых образована сетью несущих гибких нитей с последующей укладкой на нее ограждающих элементов без обеспечения совместной работы их между собой и с опорным контуром.
15. Арка это –
- a) дноэлементная конструкция, загружаемая по всему пролёту;
  - b) стержневая конструкция, состоящая из вертикальных горизонтальных элементов, соединенная между собой в узлах;
  - c) плоский изогнутый стержень, с неподвижными опорами по концам;



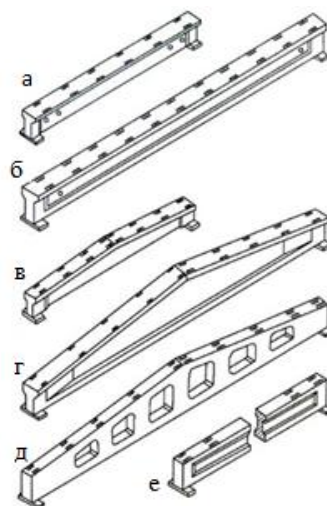
- d) несущая конструкция, состоящая из стержней, расположенных в одной плоскости и соединенных между собой в узлах.
16. Гипаром называется:
- a) оболочка, срединная поверхность которой представляет гиперболический параболоид;
  - b) оболочка, срединная поверхность которой представляет коноид;
  - c) оболочка, срединная поверхность которой образуется вращением плоской кривой или прямой линии (образующей) вокруг оси вращения;
  - d) сборная многоволновая оболочка.
17. К распорным конструкциям относятся:
- a) купол;
  - b) свод;
  - c) однолепестковый гипар;
  - d) все варианты верны.
18. Конструкции, работающие только в одной вертикальной плоскости, проходящей через опоры это:
- a) пространственные покрытия;
  - b) плоскостные покрытия;
  - c) распорные конструкции;
  - d) безраспорные конструкции.
19. Конструкция оболочки состоит из трех основных элементов –
- a) тонкой оболочки, бортовых элементов и торцевых диафрагм;
  - b) железобетон, дерево, армоцемент;
  - c) опоры, стержни, стержневые узлы;
  - d) фундаментной плиты, опор, несущих стен.
20. Типы фундаментов под колонны каркасных промышленных зданий:
- a) монолитные;
  - b) ленточные прерывистые;
  - c) стаканного типа;
  - d) ленточные непрерывные;
  - e) сборные.
21. Что такое ростверк?
- a) опорная плита, используемая для распределения давления от сосредоточенной нагрузки;
  - b) балка, служащая для передачи нагрузок от стенового заполнения наружных и внутренних стен на фундаменты колонн каркаса;
  - c) балка, связывающая оголовки свай и служащая опорой для стен;
  - d) верхняя часть столбчатого фундамента, на которую опирается металлическая колонна.
22. Как классифицируются перекрытия по положению в здании?
- a) подвальные, цокольные, междуэтажные, чердачные;
  - b) пустотные, плоские, ребристые;
  - c) надчердачные, этажные, надподвальные;
  - d) рядовые, усиленные, арочные, клинчатые.
23. Какие бывают сборные железобетонные плиты перекрытия?
- a) пустотные, плиты 2Т, плоские, ребристые;
  - b) каменные, экструзионные;
  - c) ДСП, цементные, керамические, декоративные.
24. Какие плиты перекрытия получают методом выдавливания?

- a) арочные;
  - b) пустотные;
  - c) экструзионные;
  - d) ребристые.
25. Что такое кровля?
- a) верхняя часть здания, защищающая его от атмосферных воздействий;
  - b) плоские плиты покрытия или перекрытия, уложенные по балкам;
  - c) горизонтальная конструкция, состоящая из несущих и ограждающих элементов, расположенных в уровне крыши;
  - d) покрытие здания, объединяющее несущие и ограждающие строительные конструкции.
26. Что такое пространственные покрытия?
- a) верхний водонепроницаемый слой крыши, выполненный из различных материалов;
  - b) несущие конструкции, служащие опорой для стропильных ферм и балок;
  - c) объёмные тонкостенные конструкции, перекрывающие большие пролёты без промежуточных опор и сочетающие в себе несущие и ограждающие функции;
  - d) плоское покрытие (обычно жилого здания), состоящее из несущей плиты, пароизоляции, утеплителя, гидроизоляционного слоя.
27. Что такое балка?
- a) криволинейное перекрытие в проёме стены или между двумя столбами;
  - b) горизонтальная несущая конструкция;
  - c) несущая стержневая конструкция покрытия;
  - d) вертикальная несущая конструкция, изготовленная на месте строительства в деревянной или металлической опалубке.
28. Что такое ферма?
- a) строительная конструкция, предназначенная для изоляции внутренних объёмов в здании от внешней среды или между собой;
  - b) горизонтальная балка, являющаяся опорой панелей междуэтажного перекрытия или покрытия;
  - c) горизонтально расположенные элементы, разделяющие здание на этажи и передающие нагрузку на стены и колонны;
  - d) несущая стержневая конструкция покрытия.
29. Что такое колонна?
- a) вертикальная несущая конструкция, у которой размеры поперечного сечения значительно меньше длины;
  - b) строительная конструкция, предназначенная для изоляции внутренних объёмов в здании от внешней среды или между собой;
  - c) металлический элемент, служащий для крепления металлической кровли к обрешётке;
  - d) несущая конструкция покрытия в виде балки.
30. Перечислить виды пространственных покрытий:
- a) стропильные фермы, стропильные балки;
  - b) подстропильные фермы, подстропильные балки;
  - c) подкрановые балки, подстропильные фермы, подстропильные балки, стропильные фермы, стропильные балки;
  - d) складки, шатры, оболочки, купола.
31. Перечислить типы балок?

- a) сегментные, с параллельными поясами, полигональные;
  - b) односкатные, двухскатные, подстропильные, подкрановые, фундаментные;
  - c) основные, второстепенные, дополнительные;
  - d) бескатные, плоские, вальмовые.
32. Что такое ригель?
- a) Несущая стержневая конструкция покрытия;
  - b) Строительная конструкция, предназначенная для изоляции внутренних объёмов в здании от внешней среды или между собой;
  - c) Горизонтальная балка, являющаяся опорой панелей междуэтажного перекрытия или покрытия;
  - d) Горизонтальная поверхность, служащая для передвижения масс, а также для расположения предметов обстановки и оборудования.
33. Перечислить типы ферм?
- a) односкатные, двухскатные, фундаментные;
  - b) основные, второстепенные, дополнительные;
  - c) сегментные, с параллельными поясами, полигональные, подстропильные;
  - d) бескатные, плоские, односкатные, двускатные, вальмовые.
34. Малоуклонные металлические фермы для промзданий изготавливаются из профилей:
- a) трапецевидного сечения;
  - b) широкополочных товаров;
  - c) треугольного сечения;
  - d) круглых труб;
  - e) прокатных уголков.
35. Материал, применяющийся в качестве утеплителя в конструкциях гражданских и промышленных зданий:
- a) пенопласт;
  - b) минеральная вата;
  - c) древесно-волокнистая плита;
  - d) пенополиуретан.
36. Основным преимуществом ж/б каркасов промзданий являются:
- a) высокая долговечность;
  - b) малая деформативность;
  - c) большая масса;
  - d) огнестойкость;
  - e) легкая реконструкция.
37. Распор в сводах может восприниматься:
- a) фундаментами;
  - b) контрфорсами;
  - c) зытяжками;
  - d) продольными стенами.
38. Что такое рамная конструкция?
- a) несущая конструкция в виде скреплённых под углом элементов;
  - b) система несущих элементов крыши;
  - c) конструктивная схема здания с наружными несущими стенами и внутренними несущими конструкциями в виде стоечно-балочной системы;
  - d) перекрытие, в состав которого не входят балки.
39. Каркасная конструктивная система бывает:

- a) без ригельная;
  - b) с поперечными и продольными ригелями;
  - c) перекрестно-стенная;
  - d) с несущими объемными блоками.
40. Распор в арках может восприниматься:
- a) затяжками и фундаментом;
  - b) полами и продольными стенами;
  - c) продольными стенами;
  - d) наклонными стойками.
41. Большепролетными зданиями и сооружениями относят здания и сооружения;
- a) покрытия которых выполнено с применением большепролетных конструкций размером более 48 м.,
  - b) покрытия которых выполнено с применением большепролетных конструкций размером более 72 м.,
  - c) покрытия которых выполнено с применением большепролетных конструкций размером более 100 м.,
  - d) покрытия которых выполнено с применением большепролетных конструкций размером более 36 м.
42. К уникальным относятся здания и сооружения, удовлетворяющие следующим условиям;
- a) с высотой превышающей 200 м, или с величиной пролета более 50 м, или с вылетом консоли более 20 м, или если заглубление подземной части относительно планировочной отметки земли более чем на 15 м.,
  - b) с высотой превышающей 100 м, или с величиной пролета более 100 м, или с вылетом консоли более 20 м, или если заглубление подземной части относительно планировочной отметки земли более чем на 15 м.,
  - c) с высотой превышающей 200 м, или с величиной пролета более 60 м, или с вылетом консоли более 20 м, или если заглубление подземной части относительно планировочной отметки земли более чем на 25 м.,
  - d) с высотой превышающей 70 м, или с величиной пролета более 100 м, или с вылетом консоли более 20 м, или если заглубление подземной части относительно планировочной отметки земли более чем на 5 м.
43. Тонкостенные пространственные покрытия – это
- a) плоские покрытия зданий;
  - b) покрытия прямоугольные в плане;
  - c) покрытия из плит с тонкими полками;
  - d) системы, образованные тонкостенными оболочками и контурными конструкциями.
44. Назначение тонкостенных пространственных покрытий:
- a) создание необходимой жесткости здания;
  - b) совмещение несущих и ограждающих конструкций покрытий зданий и сооружений;
  - c) увеличение высоты здания;
  - d) организация естественной вентиляции основного объема здания.
45. Сборное домостроение, по сравнению с монолитным, имеет ряд достоинств:
- a) не требует огромных затрат на создание его базы;
  - b) перенос мокрых процессов формования и твердения бетона в помещение и уменьшение величины трудозатрат на стройке;

- с) сокращает транспортные расходы, а также уменьшает инертность Строительного комплекса;
- д) высокая экономичности и эффективностью за счет разрезания здания на отдельные элементы.
46. Поверхности двоякой кривизны могут быть образованы:
- способом вращения плоской кривой (образующей) вокруг оси, находящейся вместе с ней в одной плоскости;
  - при переносе прямой линии, скользящей по двум направляющим;
  - поступательным перемещением плоской образующей по параллельным направляющим (способом переноса);
  - верно 1 и 3.
47. Одноэлементная конструкция, загружаемая по всему пролёту?
48. Типовые размеры балок:
- 9,12,18 метров;
  - 8,11,15 метров;
  - 10,15,20 метров;
  - 9,13,15 метров
49. Железобетонные балки могут выполняться:
- монолитными;
  - разборно-монолитными;
  - разборными;
  - сборно-монолитными;
  - сборными (из отдельных блоков и цельные).
50. Отношение высоты балки к пролёту может колебаться в пределах:
- от 1/9 до 1/20.
  - от 1/8 до 1/25.
  - от 1/8 до 1/20.
  - от 1/9 до 1/25
51. На рисунке изображены железобетонные балки покрытий (установите соответствие):

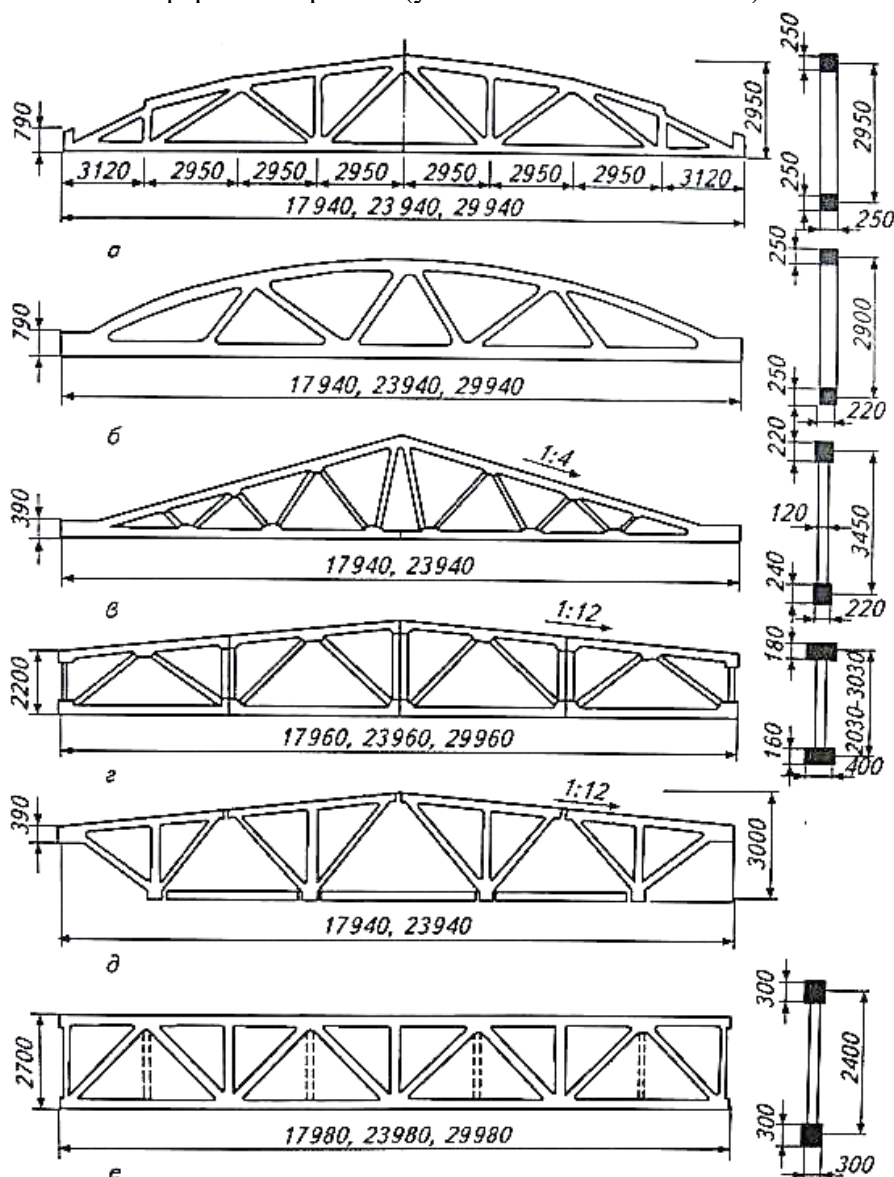


- а,б[1]односкатные железобетонные стропильные балки;
- в,г [2]двухскатные;
- д [3] решетчатые;
- е [4] с параллельными поясами.

52. Деревянные балки подразделяются на:
- a) клепаные;
  - b) гвоздевые;
  - c) клееные;
  - d) скрепленные скобами.
53. Высота гвоздевых балок составляет:
- a)  $1/5$ – $1/8$  от пролета балки;
  - b)  $1/6$ – $1/8$  от пролета балки;
  - c)  $1/6$ – $1/10$  от пролета балки;
  - d)  $1/5$ – $1/10$  от пролета балки.
54. Отличительными особенностями клееных балок в отличие от гвоздевых являются:
- a) высокая прочностью и повышенная огнестойкость;
  - b) меньшая длина перекрываемого пролета;
  - c) большая длина перекрываемого пролета;
  - d) низкая прочность и меньшая огнестойкость.
55. Отличительными особенностями гвоздевых балок в отличие от клееных являются:
- a) высокая прочностью и повышенная огнестойкость;
  - b) меньшая длина перекрываемого пролета;
  - c) большая длина перекрываемого пролета;
  - d) низкая прочность и малая огнестойкость.
56. Высота клееных балок составляет:
- a)  $1/12$ – $1/15$  от пролета;
  - b)  $1/8$ – $1/12$  от пролета;
  - c)  $1/10$ – $1/12$  от пролета;
  - d)  $1/10$ – $1/16$  от пролета.
57. Разрешено ли использовать деревянные балки в зданиях первого класса?
- a) да;
  - b) нет.
58. Почему запрещено использовать деревянные балки в зданиях первого класса?
- a) низкая огнестойкость;
  - b) малая длина перекрываемого пролета;
  - c) большая чувствительность к перепадам температур;
  - d) низкая несущая способность.
59. Главными отрицательными свойствами железобетонных балок являются:
- a) балки имеют большой изгибающий момент;
  - b) балки имеют большую собственную массу;
  - c) балки сложны в изготовлении;
  - d) балки сложны в монтаже.
60. Главным положительным свойством железобетонных балок является:
- a) балки имеют маленький изгибающий момент;
  - b) балки имеют большую собственную массу;
  - c) балки просты в изготовлении;
  - d) балки просты в монтаже.
61. По очертанию верхнего и нижнего поясов клееные балки могут быть:
- a) с горизонтальными поясами;
  - b) одно- или двухскатные;
  - c) криволинейные;

- d) трехскатные;
  - e) с вертикальными поясам.
62. Отличие клееных балок от гвоздевых:
- a) могут быть одно- или двухскатными;
  - b) обладают более высокой прочностью и повышенной огнестойкостью;
  - c) имеют большую массу;
  - d) имеют большой прогиб.
63. Преимущества железобетонных балок:
- a) имеют большой изгибающий момент;
  - b) имеют большую собственную массу;
  - c) не подвержены коррозии;
  - d) просты в изготовлении.
64. Железобетонные балки могут выполняться:
- a) монолитными;
  - b) сборными;
  - c) сборно монолитными;
  - d) все варианты верны.
65. Сквозная несущая конструкция, состоящая из стержней, расположенных в одной плоскости и соединенных между собой в узлах таким способом, что они образуют решетчатую систему, геометрически неизменяемую?
66. Типовые пролеты ферм применяют при пролетах:
- a) 18,24,30,36 метров;
  - b) 19,25,31,37 метров;
  - c) 20,25,30,35 метров;
  - d) 18,23,27,38 метров.
67. Стальные фермы в отличие от металлических балок за счет решетчатой конструкции обладают следующими свойствами:
- a) обладают меньшей несущей способностью;
  - b) на изготовление расходуется меньшее количество металла;
  - c) на изготовление используется большее количество материала.
68. Железобетонные фермы изготавливаются:
- a) цельными;
  - b) составными;
  - c) сборными;
  - d) сборно-разборными.
69. Цельные железобетонные фермы изготавливают длиной до:
- a) 20 м;
  - b) 25 м;
  - c) 30 м;
  - d) 40 м.
70. Возможно ли изготовление железобетонной фермы длиной 45 м без предварительного напряжения арматуры?
- a) да;
  - b) нет.
71. У железобетонных ферм отношение высоты фермы к длине пролета составляет:
- a)  $1/6-1/11$ ;
  - b)  $1/6-1/10$ ;
  - c)  $1/7-1/9$ ;
  - d)  $1/6-1/9$ .

72. Недостатком железобетонных ферм является:
- большая конструктивная высота;
  - большой вес конструкции;
  - сложность монтажа;
  - малая длина перекрываемого пролета.
73. Максимальная длина запроектированных железобетонных ферм составляет:
- около 100 м при шаге 12 м;
  - около 120 м при шаге 15 м;
  - около 80 м при шаге 10 м;
  - около 50 м при шаге 10 м.
74. Железобетонные фермы покрытий (установите соответствие):



- (1)а[1] сегментные;
- (2)б[2] арочная;
- (3)в[3] треугольная;
- (4)г[4] полигональная;
- (5)д[5] полигональная, с понижением поясов;
- (6)е[6] с параллельными поясами.



75. Деревянные фермы рационально применять для пролетов:

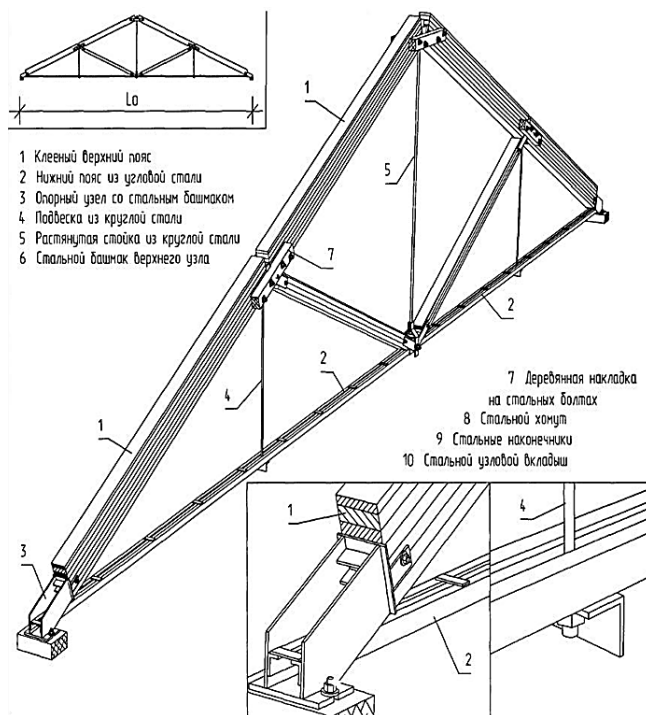
- a) более 18 м;
- b) 10–18 м;
- c) 5–10 м;
- d) 6–15 м.

76. По работе в пространстве фермы делятся на

- a) плоские;
- b) пространственные;
- комбинированные;
- c) с предварительным натяжением.

77. На рисунке изображена:

- a) деревянная ферма;
- b) металлодеревянная ферма;
- c) металлическая ферма.



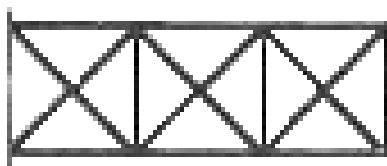
78. Наибольшее распространение получили железобетонные фермы:

- a) с полигональным очертанием поясов;
- b) с треугольным очертанием поясов;
- c) арочные;
- d) с параллельным очертанием поясов.

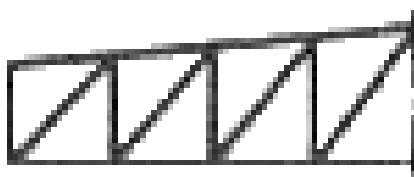
79. Фермы, как и балки, могут изготавливаться (выберите лишнее):

- a) из металла;
- b) из железобетона;
- c) из дерева;
- d) из композитных материалов.

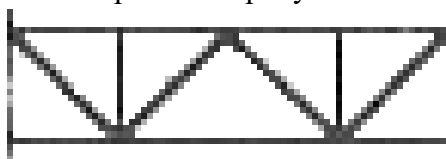
80. Для уменьшения собственной массы ферм применяют:
- а) высокопрочные бетоны;
  - б) легкие плиты покрытия из эффективных материалов;
  - в) пенобетоны;
  - г) газобетоны;
  - д) плиты покрытия с минимальной толщиной покрытия.
81. Какой тип решетки изображен на рисунке



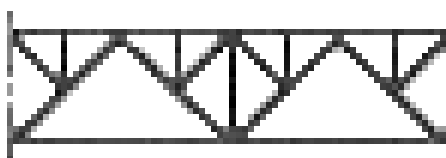
82. Какой тип решетки изображен на рисунке



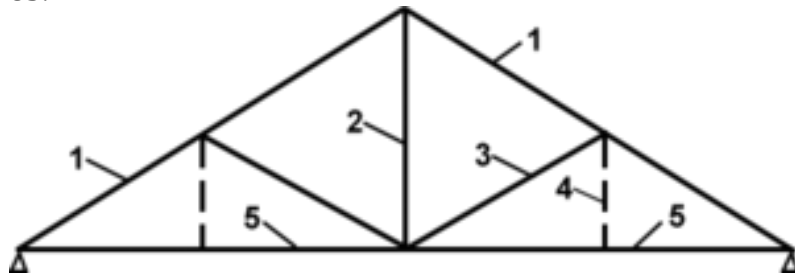
83. Какой тип решетки изображен на рисунке



84. Какой тип решетки изображен на рисунке



85. Установите соответствия:



- |      |                         |
|------|-------------------------|
| (1)1 | [1] стропильная нога;   |
| (2)2 | [2] стойка;             |
| (3)3 | [3] раскос;             |
| (4)4 | [4] добавочные раскосы; |
| (5)5 | [5] растяжка;           |
| [6]  | бабка;                  |
| [7]  | стержень.               |

86. Недостатком железобетонных ферм является:

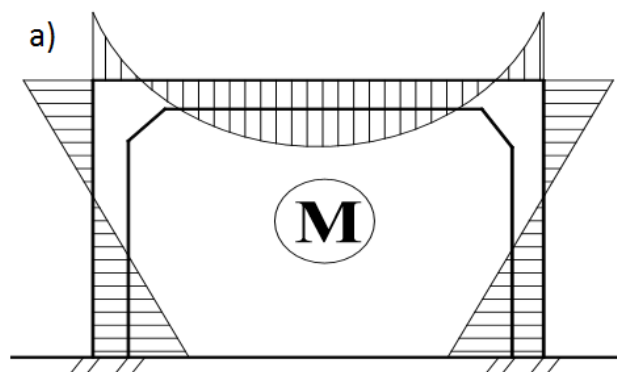
- a) большая конструктивная высота;
- b) не достаточная жесткость;
- c) большой изгибающий момент;
- d) чувствительность к неравномерной осадке.

87. Железобетонные фермы изготавливаются цельными при длине до:

- a) 20 м;
- b) 30 м;
- c) 40 м;
- d) 50 м.

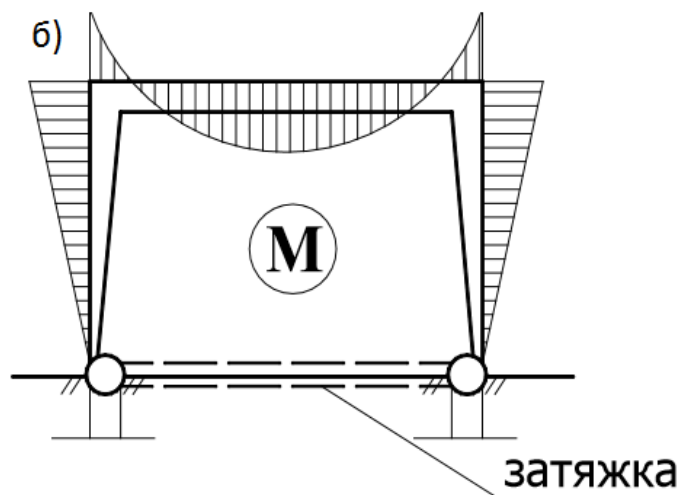
88. Стержневая конструкция, состоящая из вертикальных элементов (стоек) и горизонтальных (ригелей), жестко соединенная между собой в узлах.

89. Какая рама изображена на рисунке?



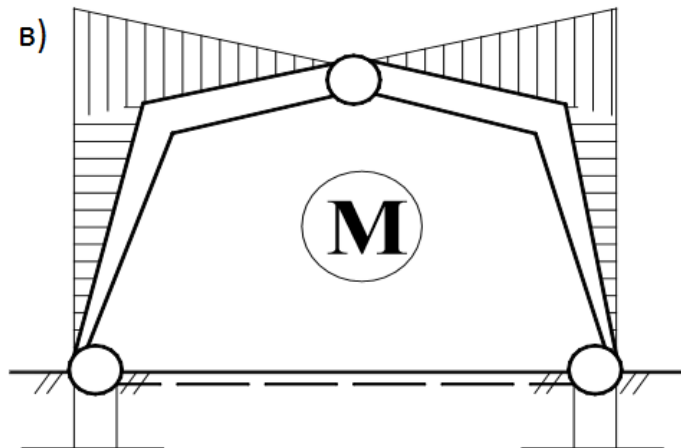
- a) бесшарнирная;
- b) двухшарнирная;
- c) трехшарнирная.

90. Какая рама изображена на рисунке?



- a) бесшарнирная;
- b) двухшарнирная;
- c) трехшарнирная.

91. Какая рама изображена на рисунке?



- а) бесшарнирная;
- б) двухшарнирная;
- с) трехшарнирная.

92. Могут ли выполняться металлические рамы решетчатого сечения?

- а) да;
- б) нет.

93. Высота сечения ригелей решетчатых рам принимается в пределах:

- а)  $1/10-1/25$  пролета;
- б)  $1/25-1/30$  пролета;
- с)  $1/20-1/25$  пролета;
- д)  $1/20-1/30$  пролета.

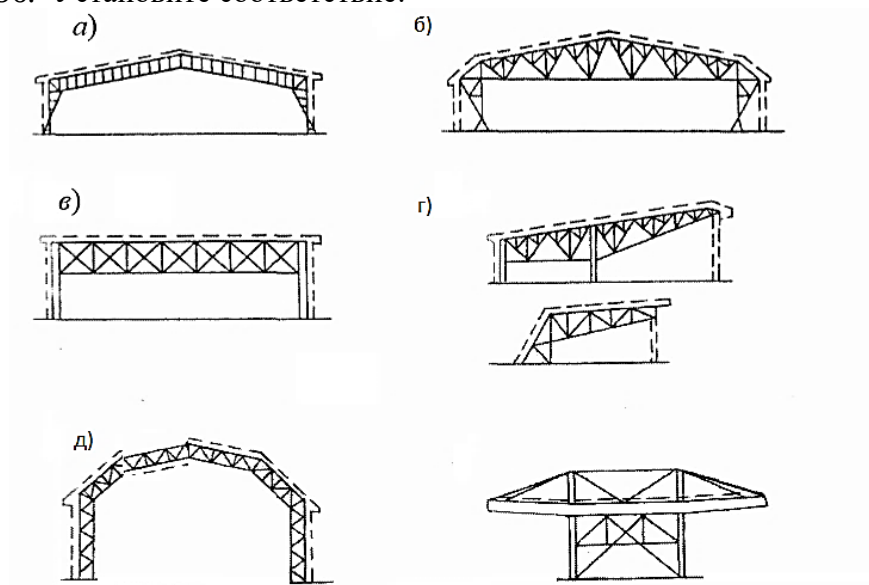
94. Высота сечения ригелей рам сплошного сечения принимается в пределах:

- а)  $1/25-1/30$  пролета;
- б)  $1/15-1/30$  пролета;
- с)  $1/25-1/40$  пролета;
- д)  $1/20-1/30$  пролета.

95. Для уменьшения высоты сечения ригеля как сплошного, так и решетчатого металлических рам применяют:

- а) разгружающие консоли;
- б) затяжки;
- с) растяжки.

96. Установите соответствие:



- (1)а [1] рама с шарнирным опиранием;  
 (2)б [2] рама с гибкими стойками;  
 (3)в [3] рама одноконсольная;  
 (4)г[4] рама полигональная;  
 (5)д [5] двухконсольная висячая рама.

97. Железобетонные рамы как основные конструкции зданий павильонного типа проектируют:

- а) монолитными;  
 б) сборными;  
 в) сборно-монолитными;  
 г) сборно-разборными;  
 д) разборно-монолитными.

98. Перекрываемые железобетонными рамами пролеты колеблются в широких пределах:

- а) от 12 до 120 м;  
 б) от 12 до 130 м;  
 в) от 12 до 140 м;  
 г) от 12 до 150 м.

99. Для большепролетных рам используют:

- а) монолитные конструкции с напрягаемой арматурой;  
 б) сборные конструкции с напрягаемой арматурой;  
 в) сборно-монолитные конструкции с напрягаемой арматурой;  
 г) сборные конструкции;

100. Арматуру располагают в зонах \_\_\_\_\_, определяемых эпюрами изгибающих моментов.

- а) сжатия;  
 б) растяжения.

101. По конструкции деревянные рамы бывают (выберете лишнее):

- а) брусчатыми;  
 б) дощатоклееными;  
 в) клефанерными;  
 г) гвоздевыми;

е) клепанными.  
 102. Высота ригеля из гвоздевых рам принимается:

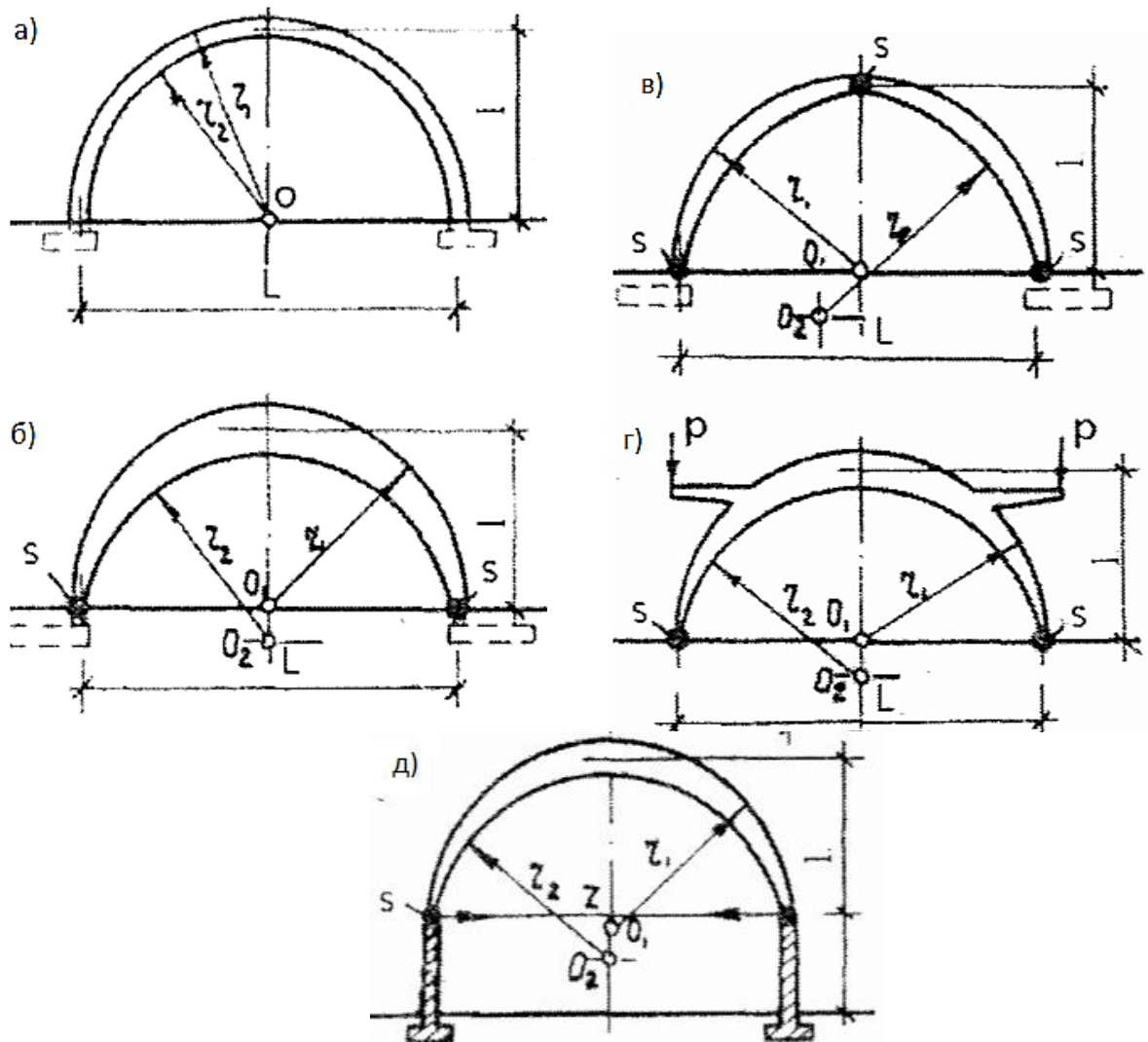
- а) 1/12 пролета рамы;
- б) 1/11 пролета рамы;
- с) 1/10 пролета рамы;
- д) 1/15 пролета рамы.

103. Высота ригеля у клееных рам принимается:

- а) 1/10 пролета;
- б) 1/12 пролета;
- с) 1/15 пролета;
- д) 1/20 пролета.

104. Плоский изогнутый стержень, с неподвижными опорами по концам?

105. Установите соответствие:



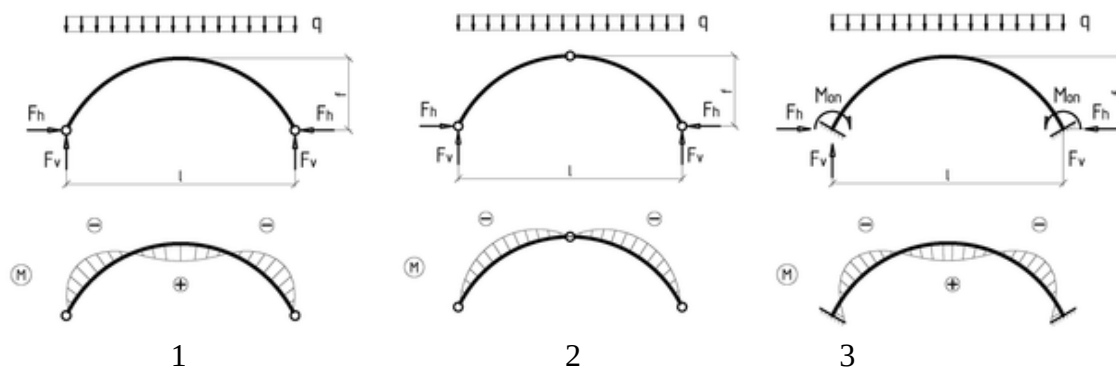
- |      |                                                      |
|------|------------------------------------------------------|
| (1)а | [1] бесшарнирная;                                    |
| (2)б | [2] двухшарнирная;                                   |
| (3)в | [3] трехшарнирная;                                   |
| (4)г | [4] двухшарнирная с разгружающими консолями;         |
| (5)д | [5] двухшарнирная с затяжкой, воспринимающей распор. |

106. Во избежание провисания затяжки, установленной в арке, применяют:
- a) подвески;
  - b) стойки;
  - c) растяжки;
  - d) растяжки.
107. Высота ригеля сплошного сечения арок применяется в пределах:
- a)  $1/25$ – $1/50$  пролета;
  - b)  $1/50$ – $1/80$  пролета;
  - c)  $1/80$ – $1/100$  пролета;
  - d)  $1/20$ – $1/60$  пролета.
108. Высота ригеля решетчатого сечения арок применяется в пределах:
- a)  $1/10$ – $1/50$  пролета;
  - b)  $1/30$ – $1/80$  пролета;
  - c)  $1/20$ – $1/90$  пролета;
  - d)  $1/30$ – $1/60$  пролета.
109. При параболическом очертании кривой отношение стрелы подъема к пролету у всех арок находится в пределах:
- a)  $1/2$ – $1/6$ ;
  - b)  $1/2$ – $1/3$ ;
  - c)  $1/2$ – $1/5$ ;
  - d)  $1/2$ – $1/4$ .
110. При круговом очертании кривой отношение стрелы подъема к пролету у всех арок находится в пределах:
- a)  $1/3$ – $1/7$ ;
  - b)  $1/4$ – $1/8$ ;
  - c)  $1/5$ – $1/10$ ;
  - d)  $1/2$ – $1/8$ .
111. Конструктивная высота сечения ригеля сплошных железобетонных арок составляет:
- a)  $1/30$ – $1/40$  пролета;
  - b)  $1/30$ – $1/50$  пролета;
  - c)  $1/30$ – $1/60$  пролета;
  - d)  $1/30$ – $1/70$  пролета.
112. Конструктивная высота сечения ригеля решетчатых железобетонных арок составляет:
- a)  $1/25$ – $1/40$  пролета;
  - b)  $1/25$ – $1/30$  пролета;
  - c)  $1/15$ – $1/30$  пролета;
  - d)  $1/25$ – $1/50$  пролета.
113. Деревянные арки выполняются из:
- a) гвоздевых элементов;
  - b) клееных элементов;
  - c) клепанных элементов;
  - d) элементов, соединенных скобами.
114. Отношение стрелы подъема к пролету у гвоздевых деревянных арок составляет:
- a)  $1/15$ – $1/20$ ;
  - b)  $1/15$ – $1/30$ ;
  - c)  $1/15$ – $1/40$ ;
  - d)  $1/15$ – $1/50$ .

115. Отношение стрелы подъема к пролету у клееных деревянных арок составляет:

- a) 1/20–1/30;
- b) 1/20–1/35;
- c) 1/20–1/40;
- d) 1/20–1/25.

116. Типы арок по статической работе (установите соответствие):



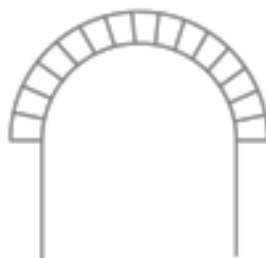
- (1)1 [1] трехшарнирная арка;
- (2)2 [2] двухшарнирная арка;
- (3)3[3]бесшарнирная арка.

117. Какой тип арок изображен на рисунке?



- a) треугольная;
- b) круглая или полуциркульная;
- c) кругла пологая арка или сегментная.

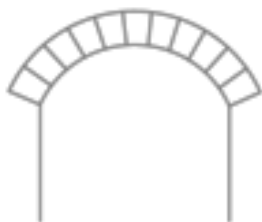
118. Какой тип арок изображен на рисунке?



- a) треугольная;
- b) круглая или полуциркульная;
- c) кругла пологая арка или сегментная.

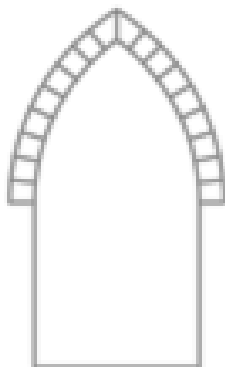


119.Какой тип арок изображен на рисунке?



- a) треугольная;
- b) круглая или полуциркульная;
- c) круглая пологая арка или сегментная.

120.Какая арка изображена на рисунке?



121.Основными типами пространственных покрытий являются:

- a) своды;
- b) фермы;
- c) купола;
- d) балки;
- e) цилиндрические оболочки;
- f) арки.

122.Основными типами пространственных покрытий являются:

- a) складчатые конструкции;
- b) фермы;
- c) балки;
- d) арки;
- e) оболочки двойной кривизны;
- f) подвесные покрытия.

123.Перекрытственные конструкции представляют собой:

- a) системы взаимно пересекающихся балок и ферм;
- b) системы параллельно расположенных балок и ферм;
- c) системы балок и ферм, не пересекающихся между собой.

124. Балки или фермы перекрестных конструкций всегда располагаются только вертикально?

- a) да;
- b) нет.

125. Могут ли балки или фермы в перекрестных конструкциях располагаться наклонно?

- a) да;
- b) нет.

126. Жесткое скрепление между собой элементов перекрестных конструкций обеспечивает:

- a) статическую работу системы как пространственной плиты;
- b) статическую работу системы как оболочки положительной Гауссовой кривизны;
- c) статическую работу системы как простой балки.

127. Элементы перекрестных конструкций могут быть соединены:

- a) с помощью ванной сварки;
- b) с помощью болтов;
- c) пайкой;
- d) формованием;
- e) склеиванием.

128. Преимущества перекрестной конструктивной системы:

- a) возможность покрытия сложных планов с регулярной и нерегулярной расстановкой опор;
- b) увеличение строительной высоты покрытия;
- c) возможность возводить здания по индивидуальным проектам, используя типовые конструкции массового изготовления;
- d) сложность кровельного покрытия;
- e) архитектурная простота и скупость в интерьере и в экстерьере.

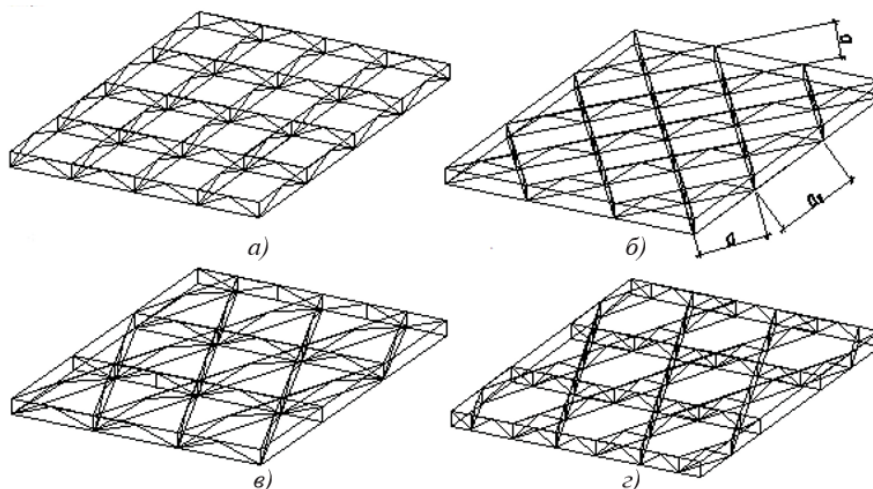
129. К недостаткам перекрестных систем относят:

- a) достаточно сложное изготовление их и монтаж, связанные с требованием высокой точности;
- b) возможность покрытия сложных планов с регулярной и нерегулярной расстановкой опор;
- c) возможность возводить здания по индивидуальным проектам, используя типовые конструкции массового изготовления.

130. Перекрёстные балки двутаврового сечения, используемые в перекрестных конструкциях имеют  $h$  (где  $h$  – высота балки;  $L$  – перекрываемый пролет):

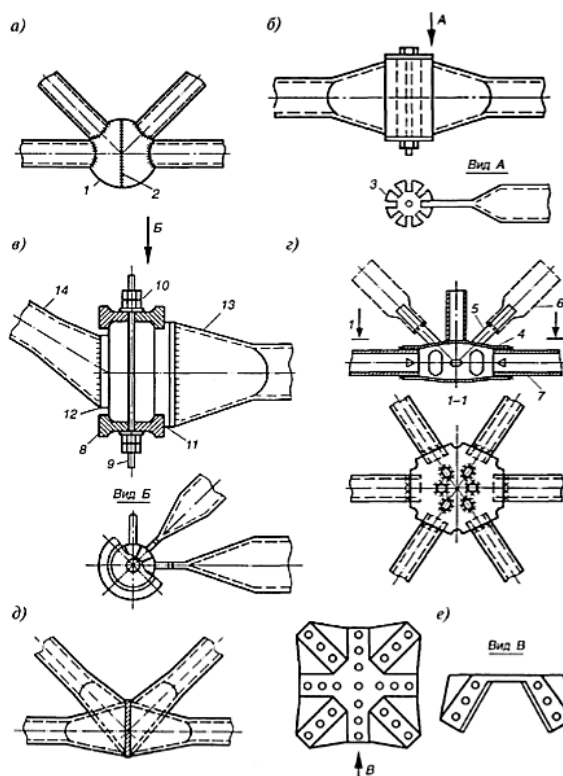
- a)  $h = 1/26L - 1/30L$ ;
- b)  $h = 1/24L - 1/35L$ ;
- c)  $h = 1/20L - 1/30L$ ;
- d)  $h = 1/24L - 1/30L$ .

131. Схемы перекрытий из вертикальных перекрёстных ферм (установите соответствие):



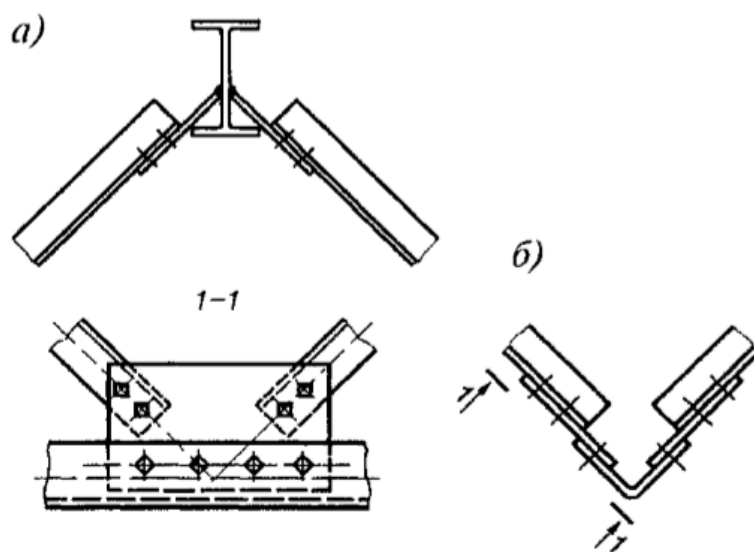
- (1)а [1] при расположении ферм в двух направлениях;  
 (2)б [2] при расположении ферм в трех направлениях;  
 (3)в [3] при расположении ферм в одном направлении;  
 (4)г [4] при расположении ферм в четырех направлениях.

132. Узлы различных структурных систем (установите соответствие):

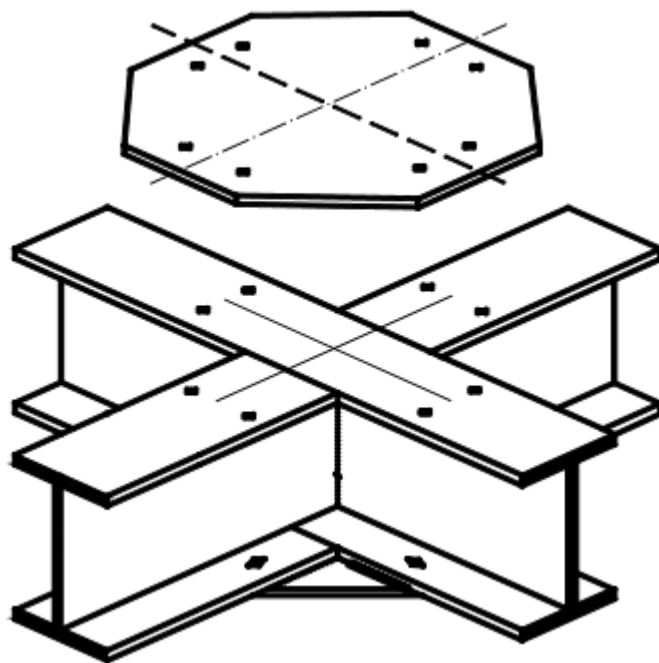


- (1) а [1] «Октаплатт»;  
 (2) б[2] «Берлин»;  
 (3) в[3] «Триодетик»;  
 (4) г [4] узел ЦНИИСК;  
 (5) д[5] «Дю Шато»;  
 (6) е[6] «Юнистрэт».

133. Крепление раскосов к узлам структуры типа «ЦНИИСК» (установите соответствие):



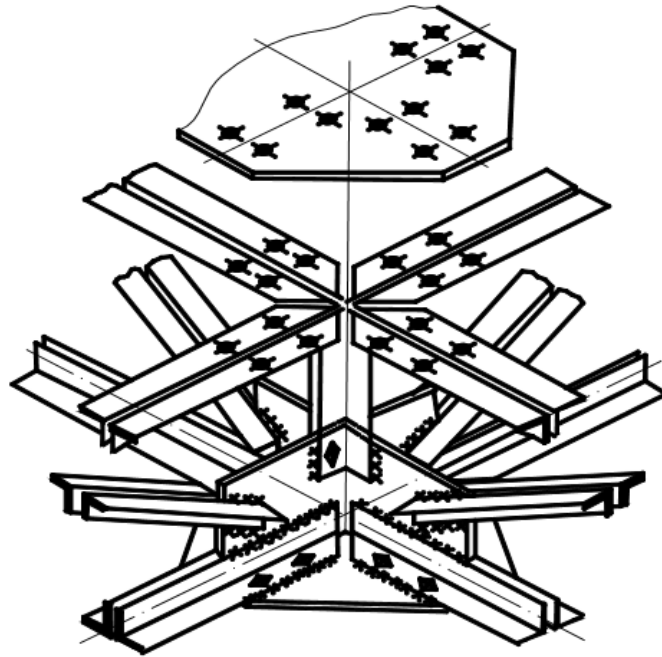
- (1)а [1] к нижнему поясу;  
 (2)б [2] к верхнему поясу.
134. Что изображено на рисунке?



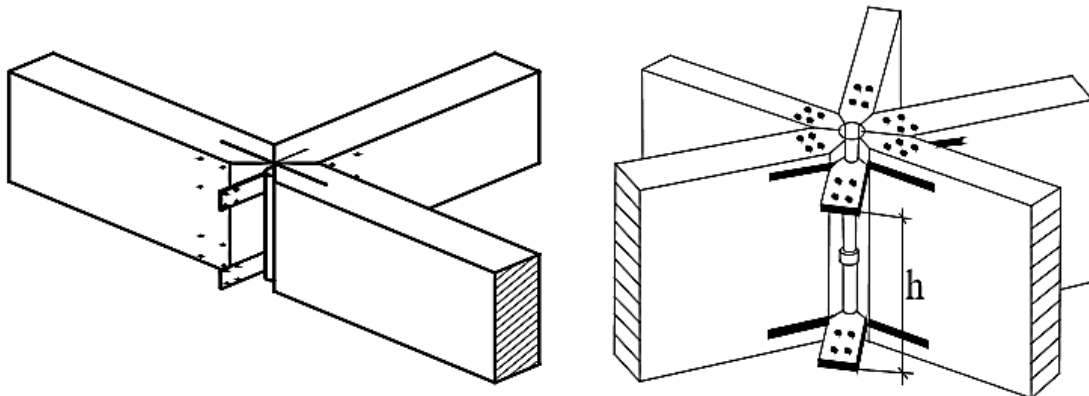
- а) Сопряжение неразрезных металлических балок с разрезными;  
 б) Сопряжение неразрезных деревянных балок;  
 в) Сопряжение неразрезных железобетонных балок с разрезными.
135. По сравнению с плоскостными конструкциями покрытия перекрестные конструкции имеют ряд преимуществ:
- а) примерно вдвое меньшую строительную высоту, поэтому они являются более экономичными по расходу металла;  
 б) большую строительную высоту;

- с) значительную жесткость покрытия, что дает возможность крепить к нему подвесное оборудование;
- д) малую степень надёжности покрытия от внезапного разрушения благодаря многосвязанности системы.
- е) узкую область применения конструкции

136. Что изображено на рисунке?



- а) сопряжение перекрестных металлических балок;
  - б) сопряжение перекрестных металлических ферм;
  - с) сопряжение неразрезных металлических балок с разрезными.
137. Что изображено на рисунке?



- а) Сопряжение перекрестных металлических балок;
  - б) Сопряжение перекрестных металлических ферм;
  - с) Сопряжение неразрезных металлических балок с разрезными;
  - д) Сопряжение перекрестных деревянных балок и ферм.
138. Перекрёстными железобетонными балками перекрывают пролёты длиной:
- а) до 40 м;
  - б) до 30 м;
  - с) до 20 м;
  - д) до 50 м.

139. Перекрестными железобетонными балками перекрывают пролёты длиной до 30 м с шагом:

- а) от 4 до 6 м;
- б) от 1 до 8 м;
- с) от 3 до 6 м;
- д) от 3 до 9 м.

140. Перекрестные железобетонные фермы собирают:

- а) только из плоских ферм в которых размещена основная арматура;
- б) из плоских ферм или решётчатых пирамид, в которых размещена основная арматура;
- с) только из решётчатых пирамид, в которых размещена основная арматура.

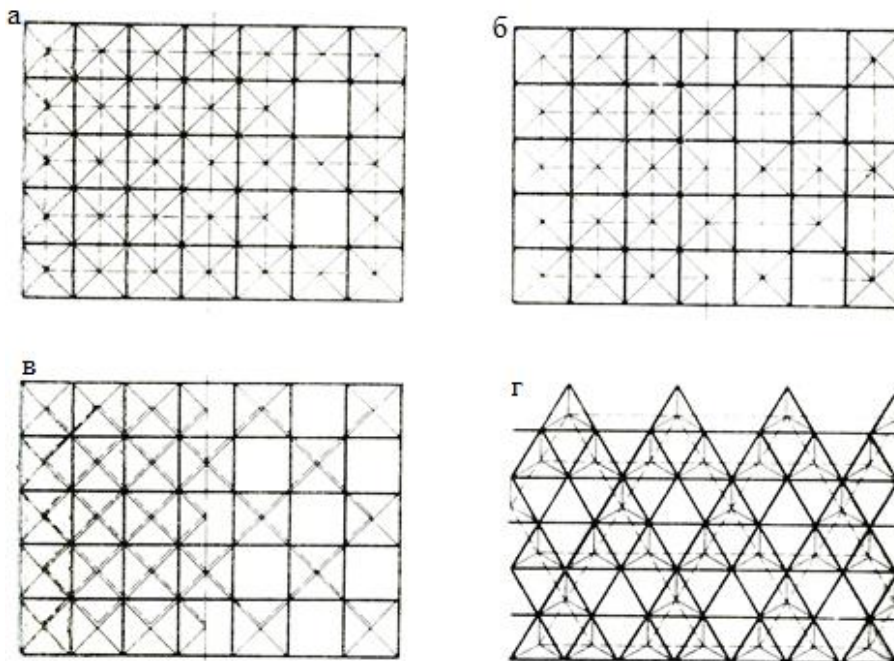
141. Высота железобетонных ферм перекрестных конструкций составляет:

- а)  $1/15 - 1/25L$  (где  $L$  – длина пролёта);
- б)  $1/15 - 1/20L$  (где  $L$  – длина пролёта);
- с)  $1/10 - 1/25L$  (где  $L$  – длина пролёта).

142. Соединения элементов сборных перекрестных балок и ферм выполняют:

- а) формированием металлических закладных деталей с последующим замоноличиванием стыков;
- б) замоноличиванием металлических закладных деталей
- с) с помощью сварки металлических закладных деталей с; последующим замоноличиванием стыков.

143. Системы стержней, сходящихся в узлах и расположенных в пространстве в строгом геометрическом порядке называют (ответ дайте в именительном падеже)?



144. Установите соответствие:

- (1) а[1] структурное пространство;
- (2) б[2] структурная конструкция;
- (3) в[3] структурная плита с квадратной сеткой;
- (4) г [4] структурная плита с треугольной сеткой.

145. Достоинства структурных покрытий сводятся к следующим:

- а) сложность узлов и высокая требуемая точность их изготовления;
- б) пространственная работа при многократной статической неопределимости (многосвязности системы), гарантирующая перераспределение усилий в стержнях при внезапном разрушении некоторых из них;
- с) однотипность узлов и стержней; примерно двукратное по сравнению с плоскими фермами снижение строительной высоты конструкции;
- д) неизбежные «люфты» в многочисленных соединениях (исключая сварные).

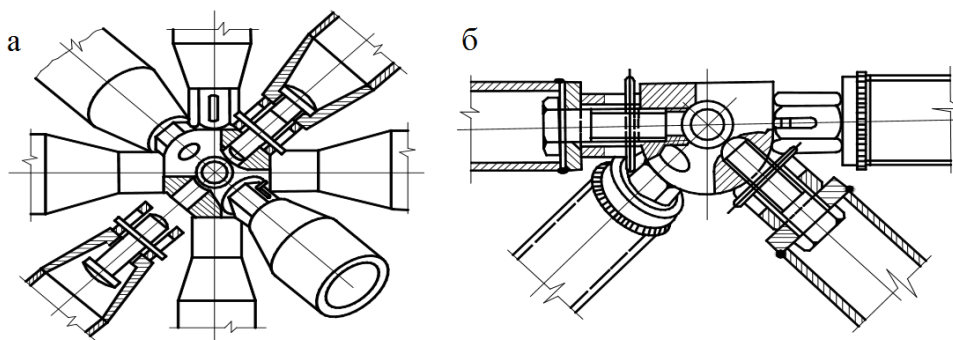
146. Достоинства структурных покрытий сводятся к следующим:

- а) облегчение кровельного покрытия и подвесных потолков благодаря частому расположению опорных точек в узлах;
- б) сложность узлов и высокая требуемая точность их изготовления;
- с) выразительность в интерьере и при выносе конструкций на фасад;
- д) неизбежные «люфты» в многочисленных соединениях (исключая сварные).

147. Недостатками структурных покрытий, порой диалектически сопряженными с их достоинствами, являются:

- а) сложность узлов и высокая требуемая точность их изготовления;
- б) неизбежные «люфты» в многочисленных соединениях (исключая сварные);
- с) пространственная работа при многократной статической неопределимости (многосвязности системы), гарантирующая перераспределение усилий в стержнях при внезапном разрушении некоторых из них;
- д) однотипность узлов и стержней; примерно двукратное по сравнению с плоскими фермами снижение строительной высоты конструкции.

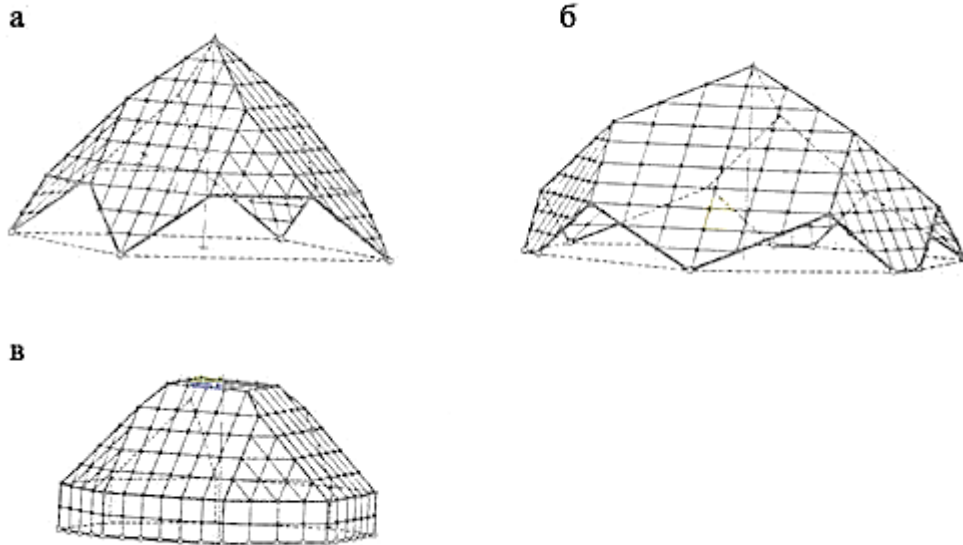
148. Установите соответствие



(1)а[1] узел Мархи;

(2)б[2] узел Метро.

149. На рисунке изображены шатровые и купольные формы на основе:



- (1)а [1] ромбододекаэдра;
- (2)б[2] ромбододекаэдра и куба;
- (3)в [3] ромбододекаэдра, куба и октаэдра.

150. Конструктивные формы структурных покрытий из древесных материалов, пластмасс, железобетона и армоцемента основаны на использовании форм сплошностенчатых пирамид?

- а) да;
- б) нет,

151. Применение структурных конструкций в современном строительстве позволяет:

- а) перекрывать помещения с любой конфигурацией плана;
- б) существенно облегчать массу покрытия, повышая за счет этого эффективность работы конструкции на полезные напряжения;
- с) за счет многократной повторяемости унифицировать элементы и узловые детали, обеспечивать их поточное изготовление;
- д) снизить трудоёмкость изготовления элементов;
- е) снизить трудность выполнения узлов по сравнению с традиционными.

152. Недостатками структурных конструкций являются:

- а) повышенная трудоёмкость изготовления элементов;
- б) сложность унификации элементов;
- с) трудность выполнения узлов по сравнению с традиционными;
- д) увеличенная масса покрытия.

153. Применение структурных конструкций в современном строительстве позволяет:

- а) снизить трудоёмкость изготовления элементов;
- б) снизить трудность выполнения узлов по сравнению с традиционными;
- с) за счет многократной повторяемости унифицировать элементы и узловые детали, обеспечивать их поточное изготовление;
- д) легко и удобно транспортировать сборные элементы;
- е) свести работу на строительной площадке к простой быстрой сборке элементов.

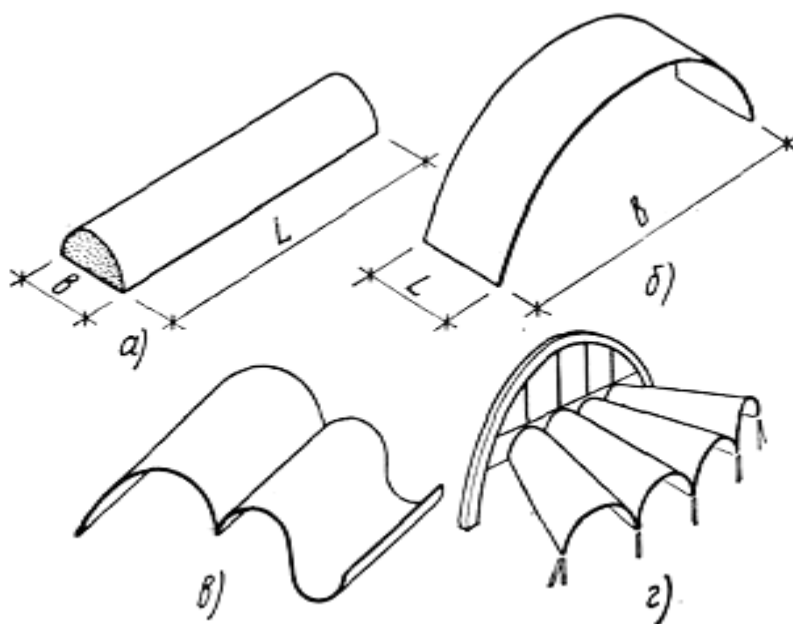


154. Пространственная конструкция, форма которой образована перемещением образующей по направляющей – это?

155. Конструкция оболочки состоит из трех основных элементов:

- а) тонкой оболочки;
- б) плит;
- в) бортовых элементов;
- г) торцевых диафрагм.

156. Разновидности цилиндрических оболочек



- (1)а [1] длинная;
- (2)б [2] конусная;
- (3)в [3] сложной формы;
- (4)г [4] короткая.

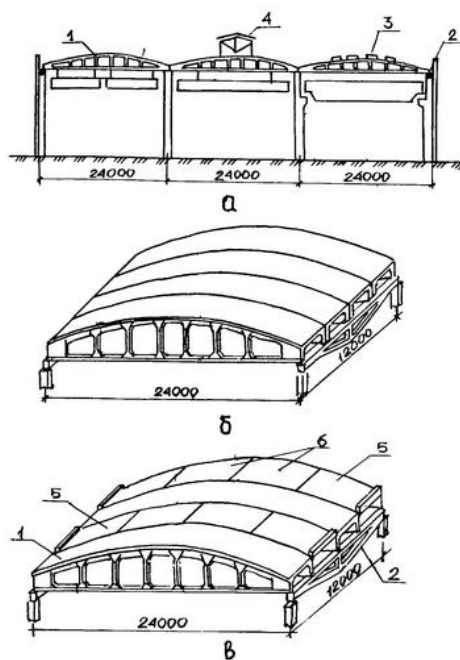
157. Плита-оболочка опирается на нижележащие конструкции четырьмя стальными пятнами, расположенными в ее углах и обеспечивающими заанкеривание затяжек. Допускается ли опирание плит в пролете?

- а) да;
- б) нет.

158. Плиты-оболочки опираются на продольные балки через опорные столики с листовыми шарнирами. Допускается ли жесткое крепление, создающее защемление плит-оболочек?

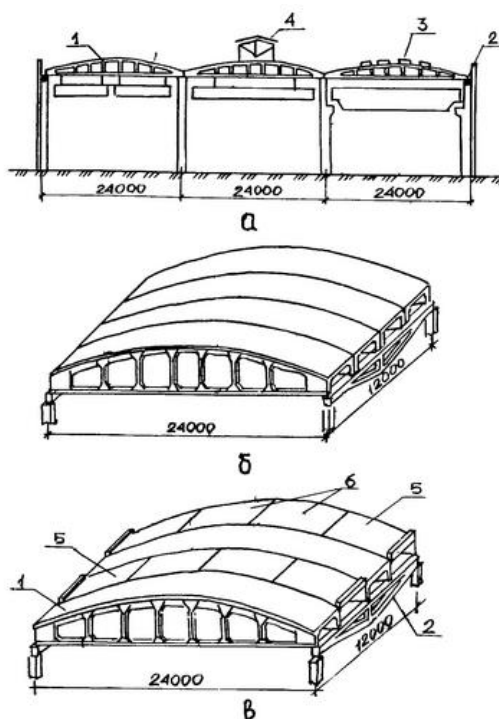
- а) да;
- б) нет.

159. Конструкции покрытий из панелей–оболочек КСО и гибких пластин:



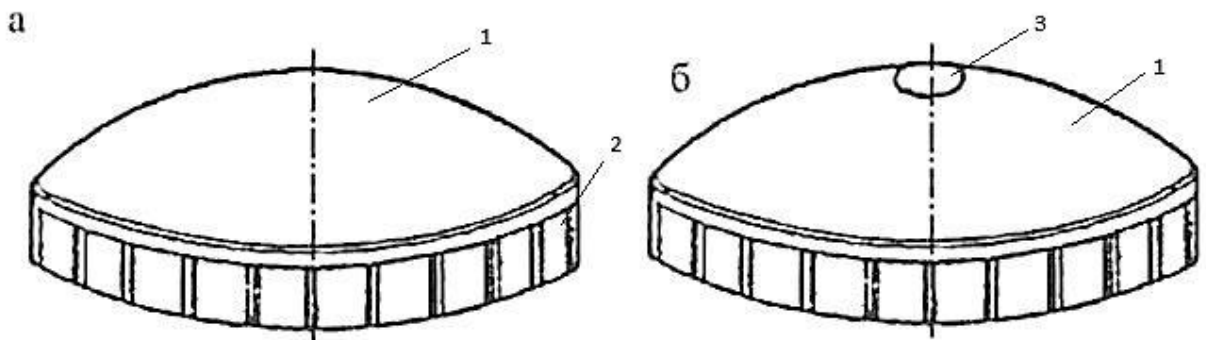
- (1)а [1] конструкция покрытия с панелями–оболочками КСО;  
 (2)б [2] рядовое покрытие;  
 (3)в [3] комбинированное покрытие.

160. Конструкции покрытий из панелей–оболочек КСО и гибких пластин (комбинированное покрытие):



- (1)1 [1] панель–оболочка КСО;  
 (2)2 [2] подстропильная конструкция;  
 (3)3 [3] зенитный фонарь;  
 (4)4 [4] светоаэрационный фонарь;  
 (5)5 [5] гибкая пластина, крайняя;  
 (6)6 [6] гибкая пластина, средняя.

161. Оболочки переноса образуются:
- движением одной кривой по другой;
  - вращением одной кривой относительно другой;
  - вращением двух кривых
  - при перемещении прямой, один конец которой движется по прямой линии, а другой – по кривой.
162. Коноидальные поверхности получают:
- при перемещении прямой, один конец которой движется по прямой линии, а другой – по кривой;
  - движением одной кривой по другой;
  - вращением одной кривой относительно другой;
  - вращением двух кривых.
163. Гиперболический параболоид (гипар) получается:
- при перемещении прямой, один конец которой движется по прямой линии, а другой – по кривой;
  - движением одной кривой по другой;
  - вращением одной кривой относительно другой;
  - когда к двум выпуклым кверху параболом подвешен ряд одинаковых парабол, выпуклых книзу.
164. Комбинированные оболочки состоят:
- только из оболочек переноса;
  - только из комбинации коноидальных поверхностей и оболочек переноса;
  - из разнообразных криволинейных поверхностей;
  - только из комбинаций гиперболических параболоидов.
165. Пространственные конструкции, срединная поверхность которых образуется вращением плоской кривой или прямой линии (образующей) вокруг оси вращения, находящейся в плоскости образующей – это?
166. Оболочка с вертикальной осью вращения называется?
167. Конструктивные схемы купольных покрытий:

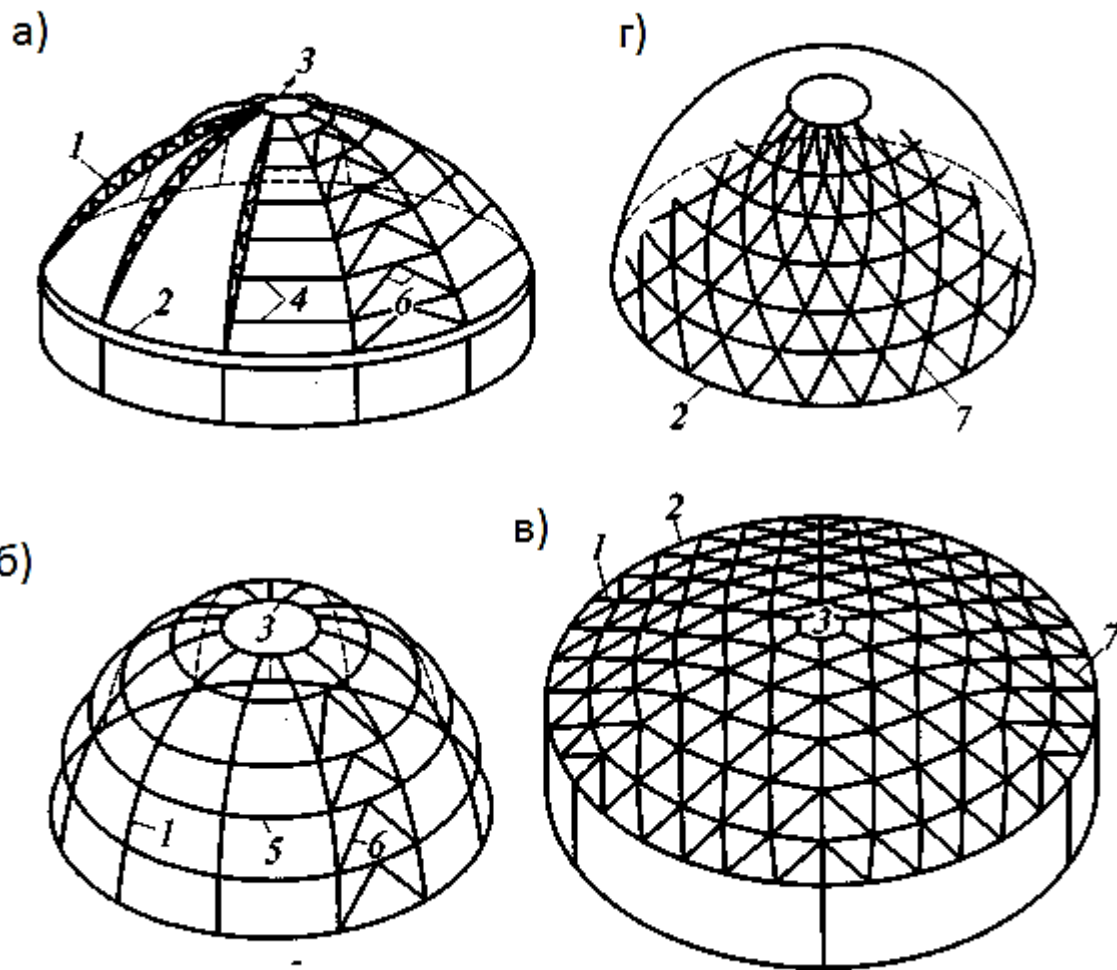


- (1)а [1] купол с отверстием;  
 (2)б [2] закрытый купол.
168. Тонкостенными называют купола, толщина стенки которых не превышает:
- $1/25$  меньшего из их радиусов кривизны;
  - $1/15$  меньшего из их радиусов кривизны;
  - $1/20$  меньшего из их радиусов кривизны;
  - $1/10$  меньшего из их радиусов кривизны.

169. К пологим относят купола, в которых отношение стрелы подъема к диаметру не превышает:

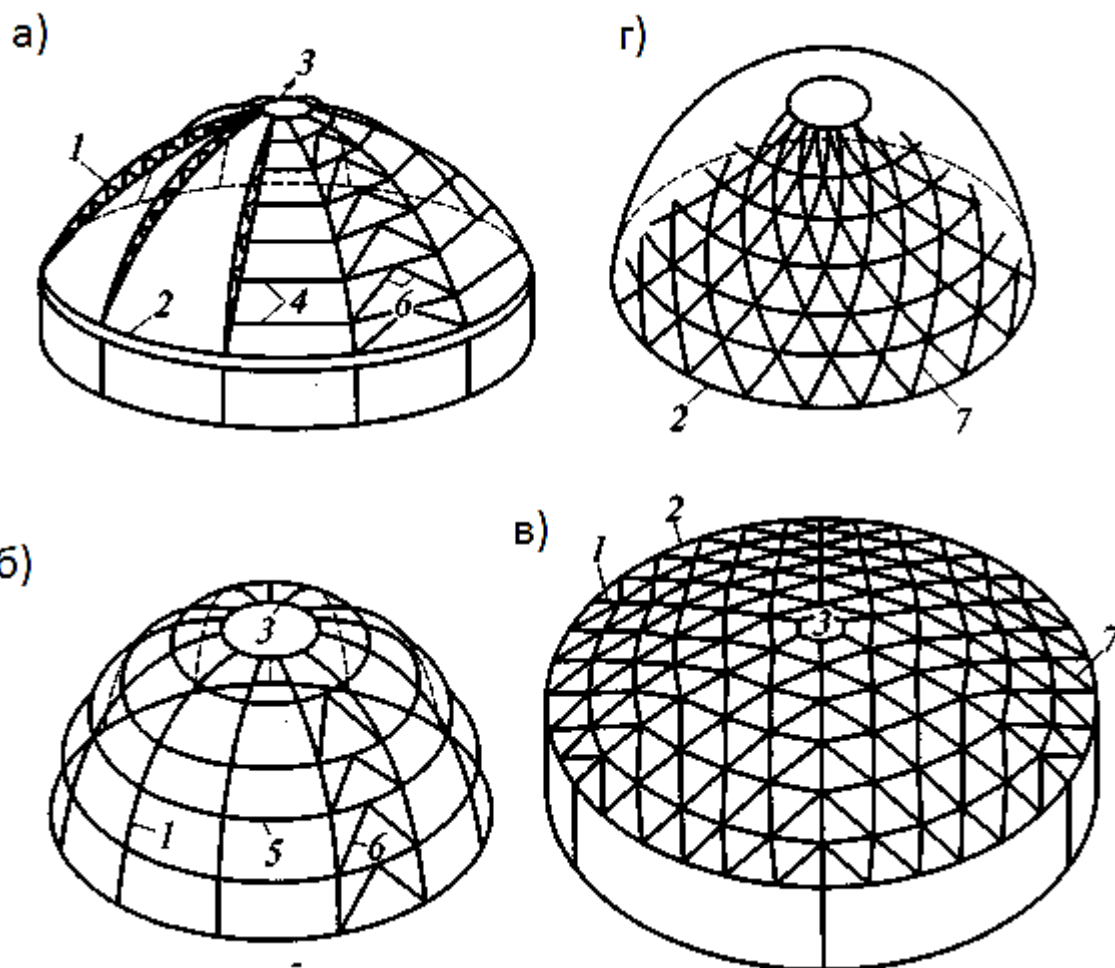
- a)  $1/5$ ;
- b)  $1/4$ ;
- c)  $1/3$ ;
- d)  $1/2$ .

170. Типы куполов:



- (1)а [1] ребристый;
- (2)б [2]ребристо-сетчатый;
- (3)в [3]ребристо-кольцевой;
- (4)г [4] сетчатый.

171. Установите соответствие:



- (1)1 [1] ребра;  
 (2)2 [2] нижнее опорное кольцо;  
 (3)3 [3] верхнее кольцо;  
 (4)4 [4] прогоны;  
 (5)5 [5] промежуточные кольца.

172. Продолжите определение:

многогранник, имеющий треугольные, ромбические или многоугольные грани—это \_\_\_\_\_ купол

173. К свойствам геодезического купола относятся:

- а) все узлы геодезического купола не лежат на сферической поверхности;
- б) все ребра геодезического купола – это хорды;
- с) все узлы геодезического купола лежат на сферической поверхности;
- д) все ребра геодезического купола – это медианы.

174. Тонкостенные покрытия, состоящие из тонкой криволинейной плиты (собственно оболочки), бортовых элементов и поперечных диафрагм – это?

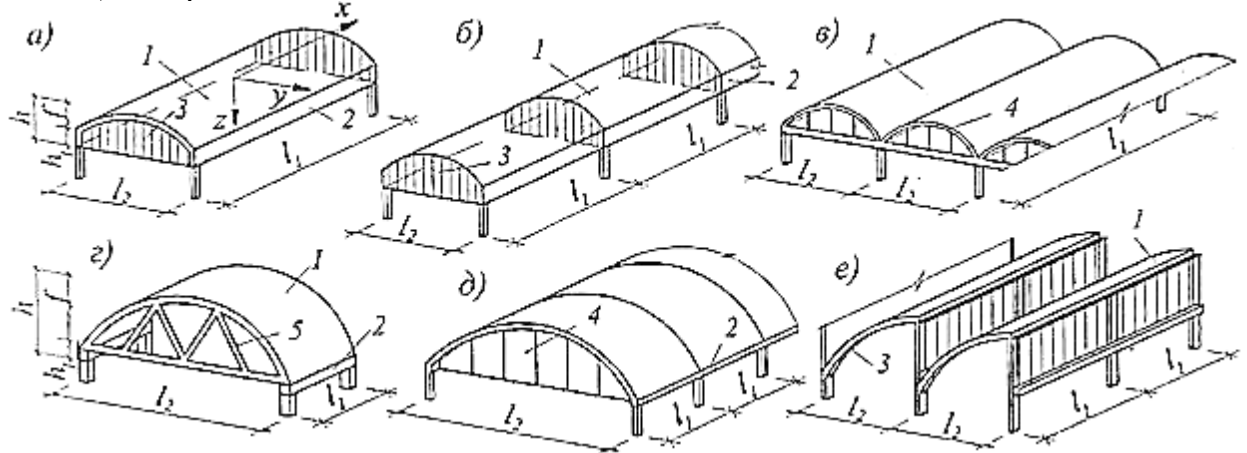
175. Цилиндрические оболочки бывают:

- а) однопролетными;
- б) беспролетными;
- с) с изменяющейся длиной пролета;
- д) многопролетными.

176. Длинные цилиндрические оболочки:

- а) отношение пролета которых к длине волны более 4;
- б) отношение пролета которых к длине волны более 9;
- в) отношение пролета которых к длине волны более 5;
- г) отношение пролета которых к длине волны более 2.

177. Цилиндрические оболочки:



- (1)а [1]однопролетная;
- (2)б [2]многопролетная;
- (3)в [3]многоволновая;
- (4)г [4]шедовая.
- (5)д
- (6)е

178. Короткие цилиндрические оболочки бывают:

- а) монолитными;
- б) сборно-монолитными;
- в) разборно-монолитными;
- г) сборными.

179. Оболочка, срединная поверхность которой представляет коноид, т. е. поверхность, образованную при переносе прямой линии, скользящей по двум направляющим; перемещаемая прямая – образующая. остается при переносе параллельной заданной плоскости – так называемой направляющей плоскости – это?

180. Структуры это:

- а) системы стержней, сходящихся в узлах и расположенных в пространстве в строгом геометрическом порядке;
- б) представляющие собой пространственные покрытия, поверхность которых образована совокупностью нескольких или многих элементарных поверхностей, пересекающихся между собой со скачкообразным изменением кривизны срединной поверхности по линии сопряжений;
- в) особый класс пространственных конструкций, выполненных из материалов, обладающих высокой прочностью при растяжении и практически неспособных к сопротивлению каким-нибудь другим видам напряженного состояния;
- г) все виды покрытий, у которых основная несущая конструкция, перекрывающая пролет, работает на растяжение.

181. Мембрана –

- а) тонкая гибкая сплошная пластина, которая обладает весьма высокой прочностью на растяжение, но ничтожно малой, практически приближающейся к нулю изгибной жесткостью;

б) система, образованная из наклонных к горизонту плоских элементов - граней, верхние и нижние кромки которых соединены по шинным сторонам и работают совместно;

с) все виды покрытий, у которых основная несущая конструкция, перекрывающая пролет, работает на изгиб;

д) тонкостенная конструкция, несущая способность которых обеспечивается, прежде всего, их геометрической формой: кругового очертания, параболического, стрельчатого, в виде коробовой кривой, цепной линии.

182. \_\_\_\_\_ – система, образованная из наклонных к горизонту плоских элементов - граней, верхние и нижние кромки которых соединены по шинным сторонам и работают совместно:

а) воздушнонесомая конструкция;

б) складчатое покрытие;

с) мембрана;

д) вантовая конструкция.

183. Тонкостенные конструкции, несущая способность которых обеспечивается, прежде всего, их геометрической формой: кругового очертания, параболического, стрельчатого, в виде коробовой кривой, цепной линии – это

а) висячие покрытия;

б) сводчатые покрытия;

с) мембранные покрытия;

д) вантовые покрытия.

184. При устройстве многоволновых покрытий предпочтительным является применение:

а) арки;

б) фермы;

с) контурного бруса.

185. Система полуарок, расположенных в вертикальных плоскостях свойственна:

а) ребристым куполам;

б) железобетонным аркам;

с) металлическим фермам;

д) мягким оболочкам.

186. Купольное покрытие состоит:

а) из оболочки и фермы;

б) из оболочки и опорного кольца;

с) из оболочки и опоры;

д) из оболочки и криволинейной балки.

187. Преимуществом купольных конструкций является:

а) легкость и удобство транспортировки сборных элементов;

б) существенное облегчение массы покрытия;

с) возможность дальнейшего увеличения высоты здания или сооружения;

д) равномерное распределение усилий по конструктивному элементу.

188. Коноидальные поверхности получаются:

а) при движении одной кривой по другой, при этом обе кривые выгнуты вверх и находятся в двух взаимно перпендикулярных плоскостях;

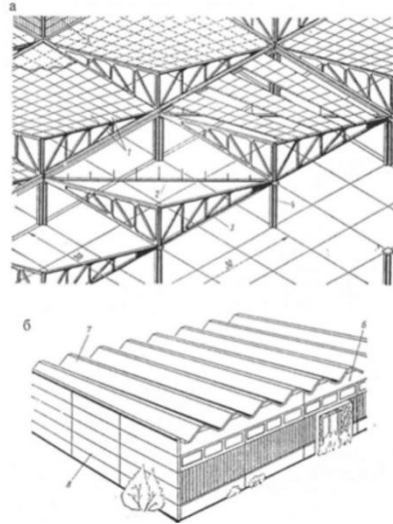
б) при перемещении прямой, один конец которой движется по прямой линии, а другой по кривой;

с) когда к двум выпуклым вверх параболам подвешен ряд одинаковых парабол, выпуклых книзу;

189. Конструктивные формы структурных покрытий из древесных материалов, пластмасс, железобетона и армоцемента основаны на использовании формы:

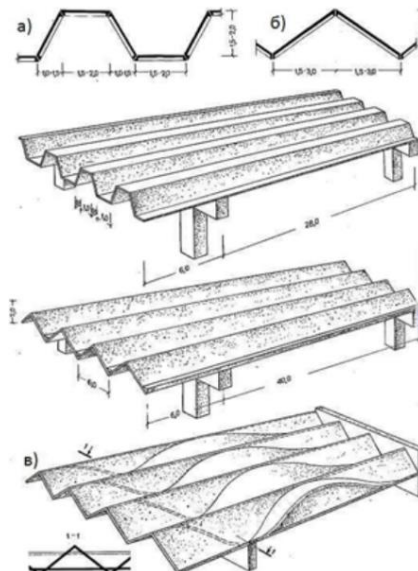
- a) куба;
- b) октаэдра;
- c) пирамиды;
- d) конуса.

190. Как называются представленные типы покрытий?



- a) покрытия типа гиперболический параболоид;
- b) покрытия нулевой Гауссовой кривизны;
- c) армоцементные структурные покрытия;
- d) мягкие оболочки.

191. На рисунке представлены:



- a) мембранные покрытия;
- b) шедовые оболочки;
- c) армоцементные структурные покрытия;
- d) складчатые покрытия.



192. Распор в конструкциях в виде однолепесткового гипара воспринимается:
- а) затяжками;
  - б) передают на фундамент через наклонные опоры;
  - в) ригелем;
  - г) верно 1 и 2.
193. Преимуществом мембранных покрытий перед покрытиями из стержней и тросов является:
- а) совмещение мембранной оболочкой несущих и ограждающих функций;
  - б) существенное облегчение собственного веса мембранных покрытий, относительная простота их монтажа;
  - в) сокращение сроков строительства;
  - г) все варианты верны.
194. К достоинствам сводчатых конструкций относят:
- а) устройство затяжек и контрфорсов;
  - б) уменьшение строительного объема здания;
  - в) возможность перекрывать здания любой длины;
  - г) увеличение количества опор по продольным сторонам.
195. Главное напряженное состояние мембраны:
- а) сжатие;
  - б) изгибная жесткость;
  - в) сдвиг;
  - г) растяжение.
196. К числу достоинств тонкостенных пространственных покрытий следует отнести:
- а) простоту производства работ при монтаже;
  - б) повышение уровня естественной освещенности;
  - в) перекрывание значительных пролетов без промежуточных опор;
  - г) высокая прочность покрытия.
197. Висячими называют:
- а) все виды покрытий, у которых основная несущая конструкция, перекрывающая пролет, работает на растяжение;
  - б) оболочки, срединная поверхность которой представляет коноид, т. е. поверхность, образованную при переносе прямой линии, скользящей по двум направляющим называется;
  - в) тонкостенные конструкции, несущая способность которых обеспечивается, прежде всего, их геометрической формой: кругового очертания, параболического, стрельчатого, в виде коробовой кривой, цепной линии;
  - г) тонкие гибкие сплошные пластины, которые обладают весьма высокой прочностью на растяжение, но ничтожно малой, практически приближающейся к нулю изгибной жесткостью.
198. Вантовыми покрытиями называются:
- а) покрытия пролетная часть которых образована сетью несущих гибких нитей (вантов) с последующей укладкой на нее ограждающих элементов без обеспечения совместной работы их между собой и с опорным контуром;
  - б) тонкие гибкие сплошные пластины, которые обладают весьма высокой прочностью на растяжение, но ничтожно малой, практически приближающейся к нулю изгибной жесткостью;

с) система, образованная из наклонных к горизонту плоских элементов - граней, верхние и нижние кромки которых соединены по шинным сторонам и работают совместно;

д) все виды покрытий, у которых основная несущая конструкция, перекрывающая пролет, работает на изгиб.

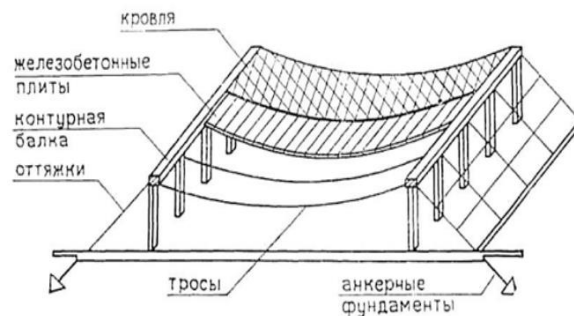
199. По расположению вант висячие покрытия можно разделить на:

- а) прямоугольные, круглые;
- б) перпендикулярные, вертикальные, шаровые;
- с) прямоугольные, треугольные, синусоидальные;
- д) радиальные, параллельные.

200. Для восприятия опорных реакций грани и ребра пирамид, опирающихся на колонну должны быть:

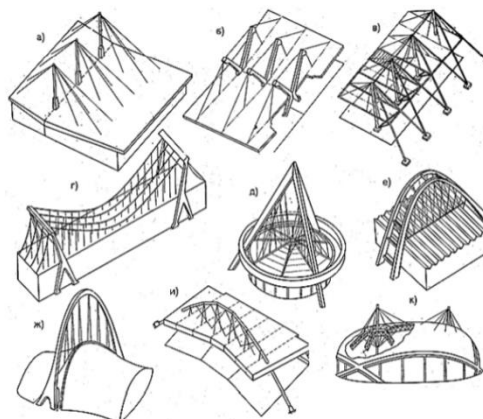
- а) усилены;
- б) ослаблены;
- с) облегчены;
- д) закреплены.

201. Такой тип покрытия называется:



- а) шедовое покрытие;
- б) вантовое покрытие;
- с) воздвухонесомая конструкция;
- д) складчатое покрытие.

202. На рисунке изображены:



- а) висячие конструкции;
- б) армоцементные структурные покрытия;
- с) складчатые мягкие оболочки;
- д) шедовые покрытия.

203. Основной недостаток висячих систем –

- a) их деформативность при действии временных нагрузок;
- b) высокая стоимость относительно других конструкций большепролетных покрытий;
- c) высокая аэродинамическая устойчивость;
- d) возникающие высокие нагрузки на сжатие.

204. Вантовые конструкции покрытия, где работа пролетного строения на \_\_\_\_\_ обеспечивает максимальное использование несущей способности материала:

- a) растяжение;
- b) изгиб;
- c) сжатие;
- d) кручение.

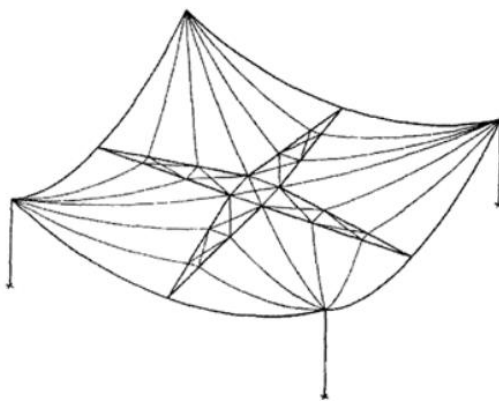
205. Для чего проводятся меры по стабилизации несущих вант?

- a) для уменьшения массы покрытия, исключения изгибно-жестких элементов из системы;
- b) для устранения возможных перемещений при воздействии сосредоточенных нагрузок на покрытие;
- c) мероприятия по стабилизации приводят к удешевлению пролетного строения;
- d) для увеличения массы покрытия, введения изгибно-жестких элементов в систему или для ее предварительного напряжения.

206. О жесткости различного типа вантовых систем нельзя сказать следующее:

- a) преднапряженные чисто вантовые системы в 2-3 раза жестче аналогичной не напряженной системы;
- b) жесткость вантовой системы с обжатой железобетонной скорлупой равна жесткости железобетонного купола;
- c) системы с жесткими вантами на порядок жестче ванта;
- d) жесткие ванты, как правило, делают из канатов или пучков, окружая железобетонной оболочкой с предварительным напряжением.

207. Элементы изображенного типа покрытия работают на:

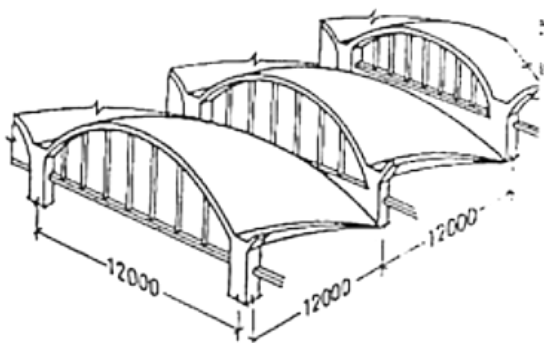


- a) растяжение;
- b) сжатие;
- c) изгиб;
- d) действие только временных нагрузок.

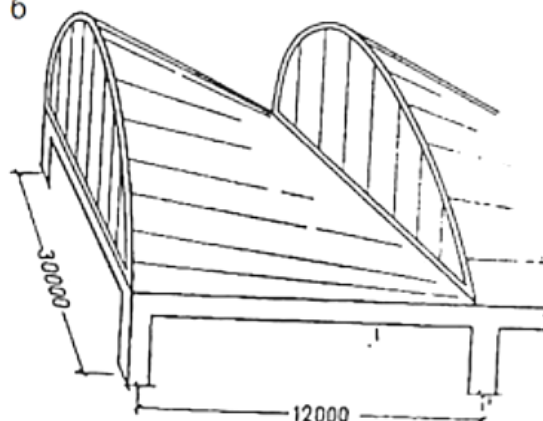
208. Принципиальной особенностью висячих систем, является:
- a) аэродинамическая неустойчивость;
  - b) композиционное разнообразие;
  - c) сложность конструкций;
  - d) депланация.
209. Стабилизация вантовых систем на прямоугольных планах может осуществляться несколькими конструктивными приёмами:
- a) за счет увеличения массы покрытия; введения изгибно жестких элементов в систему; за счет предварительного напряжения;
  - b) центральным вантовым элементом, применением жестких вант; созданием 2 х поясных систем;
  - c) пригрузом с помощью железобетонных плит покрытия, преднапряжением на жесткую скорлупу.
210. Покрытия, у которых основная несущая конструкция, перекрывающая пролет, работает на растяжение называют:
- a) висячими;
  - b) вантовыми;
  - c) воздухоопорными;
  - d) сопряженными.
211. Материал наилучшим образом используется, если он:
- a) работает на изгиб;
  - b) работает на сжатие/растяжение;
  - c) вызывает двузначные напряжения (нормальные и касательные);
  - d) работает на кручение с изгибом.
212. Оболочка, срединная поверхность которой представляет коноид, т. е. поверхность, образованную при переносе прямой линии, скользящей по двум направляющим называется:
- a) вантовым покрытием;
  - b) составной оболочкой;
  - c) мягкой оболочкой;
  - d) коноидальной оболочкой.
213. Комбинированные оболочки (составные) представляют собой пространственные покрытия:
- a) срединная поверхность которой представляет коноид, т. е. поверхность, образованную при переносе прямой линии, скользящей по двум направляющим;
  - b) особый класс пространственных конструкций, выполненных из материалов, обладающих высокой прочностью при растяжении и практически неспособных к сопротивлению каким-нибудь другим видам напряженного состояния;
  - c) поверхность которых образована совокупностью нескольких или многих элементарных поверхностей, пересекающихся между собой со скачкообразным изменением кривизны срединной поверхности по линии сопряжений;
  - d) тонкие гибкие сплошные пластины, которые обладают весьма высокой прочностью на растяжение, но ничтожно малой, практически приближающейся к нулю изгибной жесткостью.

214. Как называются такие типы покрытий?

а



б



- а) армоцементные структурные покрытия;
- б) мягкие оболочки;
- с) вантовые конструкции;
- д) шедовые коноидальные оболочки.

215. Одним из существенных недостатков коноидальных оболочек является:

- а) с поверхности таких покрытий плохо отводятся атмосферные воды;
- б) линейчатость оболочки не позволяет выполнять опалубку из прямолинейных досок;
- с) трудность членения их на сборные элементы;
- д) коноидальные оболочки менее экономичнее цилиндрических и эллипсоидных оболочек.

216. Оболочками вращения называют:

- а) срединная поверхность которой представляет коноид, т. е. поверхность, образованную при переносе прямой линии, скользящей по двум направляющим;
- б) система, образованная из наклонных к горизонту плоских элементов - граней, верхние и нижние кромки которых соединены по широким сторонам и работают совместно;
- с) все виды покрытий, у которых основная несущая конструкция, перекрывающая пролет, работает на растяжение;
- д) такие пространственные конструкции, срединная поверхность которых образуется вращением плоской кривой или прямой линии (образующей) вокруг оси вращения, находящейся в плоскости образующей.

217. Тонкие, изогнутые пластины у которых отношения толщины к радиусу

$S/R \ll 1/20$  называются:

- а) вантами;
- б) сводами;
- с) арками;
- д) оболочками.

218. делятся на пологие на эллиптических планах, квазицилиндрические на прямоугольных планах, кольцевые:

- а) безраспорные конструкции;
- б) тонколистовые конструкции;
- с) висячие стержневые системы;

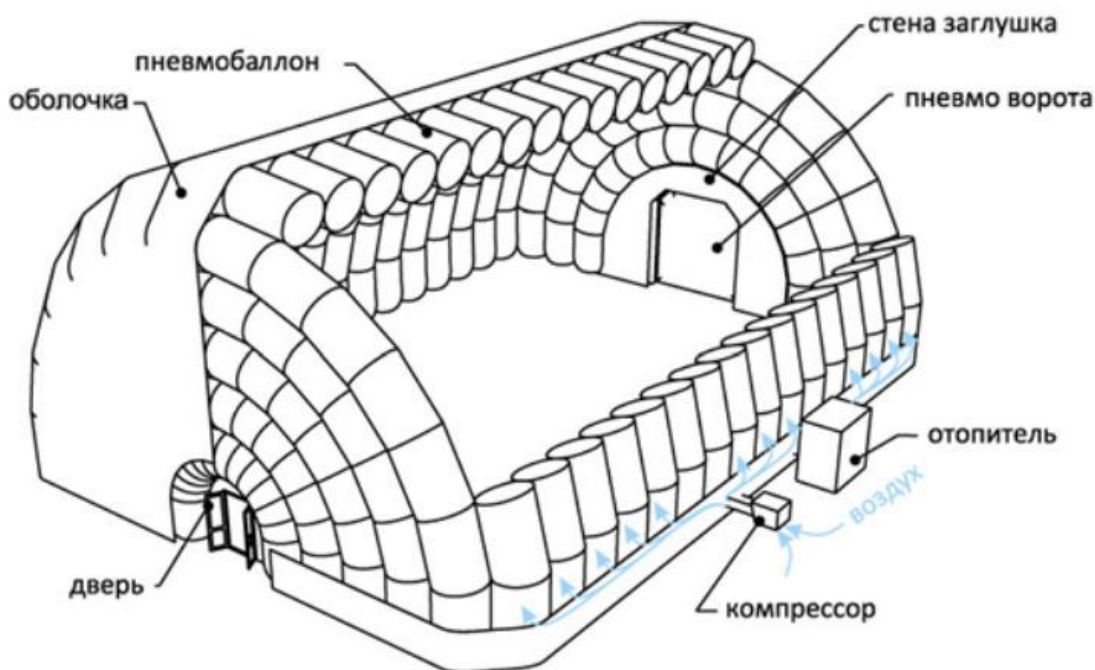
- d) мембранные оболочки.
219. В угловых зонах монолитных оболочек укладывают косую арматуру:
- a) для восприятия главных растягивающих усилий;
  - b) для восприятия сдвигающих усилий;
  - c) для восприятия изгибающих моментов;
  - d) для обеспечения сцепления сборного и монолитного бетона.
220. В приконтурных зонах монолитных оболочек укладывают дополнительную рабочую арматуру:
- a) для восприятия главных растягивающих усилий;
  - b) для восприятия сдвигающих усилий;
  - c) для восприятия изгибающих моментов;
  - d) для обеспечения сцепления сборного и монолитного бетона.
221. Оболочки с вертикальной осью вращения называются:
- a) цилиндрическими;
  - b) сводами;
  - c) куполами;
  - d) пирамидами.
222. При классификации оболочек, определяющее значение имеет:
- a) признак статической работы конструкции;
  - b) конструктивное решение;
  - c) напряженное состояние конструкции;
  - d) стадия предельного равновесия.
223. К безраспорным оболочкам относятся:
- a) оболочки отрицательной кривизны;
  - b) купола и своды;
  - c) цилиндрические и конусоидальные.
224. Не является основным элементом конструкции оболочки:
- a) бортовые элементы;
  - b) тонкая оболочка;
  - c) торцевые диафрагмы;
  - d) мембранная система.
225. Для предотвращения выпучивания в коротких оболочках:
- a) вводят продольные ребра жесткости;
  - b) вводят поперечные ребра жесткости;
  - c) увеличивают величину волны;
  - d) увеличивают стрелу подъема.
226. Напряженно деформируемое состояние мембранных оболочек наиболее сложно на:
- a) круглых планах;
  - b) овальных планах;
  - c) прямоугольных планах;
  - d) все варианты верны.
227. Стальная стержневая конструкция цилиндрической висячей оболочки проектируется из условия способности работы ее стержней на:
- a) растяжение;
  - b) сжатие;
  - c) сдвиг в своей плоскости;
  - d) растяжение, сжатие, сдвиг в своей плоскости.

228. Основное отличие стержневой оболочки от мембранной:
- a) мембрана не способна работать на растяжение;
  - b) мембрана не способна работать на сжатие;
  - c) мембрана не способна работать на сдвиг в своей плоскости;
  - d) нет отличий.
229. Самым важным конструктивным узлом в сетчатой оболочке является:
- a) решетка;
  - b) узел;
  - c) стык стержней в узле;
  - d) мембранная система.
230. Статический расчет оболочек производится:
- a) по упругой стадии;
  - b) по стадии предельного равновесия;
  - c) по стадии разрушения;
  - d) все варианты верны.
231. Сетчатые оболочки, имеющие большое количество узлов, являются:
- a) статически неопределимыми системами;
  - b) статически определимыми системами;
  - c) нестатичными системами;
  - d) все определения неверны.
232. Для восприятия несимметричных нагрузок радиально кольцевые оболочки должны иметь:
- a) жесткие узлы пересечения стержней;
  - b) диагональные связи между центральным и внешним контуром;
  - c) оба варианта верны;
  - d) оба варианта неверны.
233. У каких радиально кольцевых стержневых оболочек все внутренние стержни (кольцевые и радиальные) сжаты, а опорное кольцо растянуто:
- a) конус;
  - b) сфера;
  - c) воронка;
  - d) верно 1 и 2.
234. Мягкие оболочки –
- a) представляющие собой пространственные покрытия, поверхность которых образована совокупностью нескольких или многих элементарных поверхностей, пересекающихся между собой со скачкообразным изменением кривизны срединной поверхности по линии сопряжений;
  - b) особый класс пространственных конструкций, выполненных из материалов, обладающих высокой прочностью при растяжении и практически неспособных к сопротивлению каким-нибудь другим видам напряженного состояния;
  - c) система, образованная из наклонных к горизонту плоских элементов - граней, верхние и нижние кромки которых соединены по широким сторонам и работают совместно;
  - d) пролетная часть которых образована сетью несущих гибких нитей (вантов) с последующей укладкой на нее ограждающих элементов без обеспечения совместной работы их между собой и с опорным контуром.

235. Воздухоопорные конструкции – это

- а) оболочки больших размеров, образующие целое здание;
- б) тонкостенные конструкции, несущая способность которых обеспечивается, прежде всего, их геометрической формой: кругового очертания, параболического, стрельчатого, в виде коробовой кривой, цепной линии;
- в) система, образованная из наклонных к горизонту плоских элементов - граней, верхние и нижние кромки которых соединены по широким сторонам и работают совместно;
- г) представленное не целиком здание, а конструктивные элементы - пневматические стойки, балки, рамы, панели.

236. На рисунке представлена:



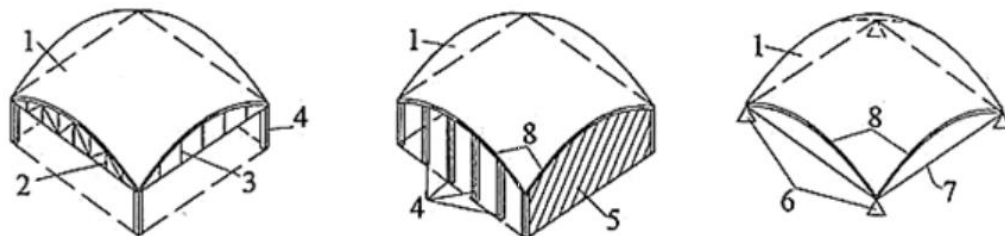
- а) воздухоопорная конструкция;
  - б) вантовая конструкция;
  - в) воздулонесомая конструкция;
  - г) складчатая мягкая оболочка.
237. Срок службы мягких оболочек:
- а) невелик и составляет в среднем 3-5 лет, для уникальных сооружений возможно увеличение срока службы до 7-10 лет;
  - б) рассчитан на эксплуатацию в течение 70-150 лет;
  - в) составляет в среднем 50-70 лет;
  - г) в среднем 7-10 лет, оболочки уникальных сооружений рассчитаны на эксплуатацию в течение 25-30 лет.
238. Мягкие оболочки могут воспринимать внешние нагрузки только:
- а) на сжатие;
  - б) при избыточном внешнем давлении воздуха;
  - в) в состоянии предварительного натяжения;
  - г) при избыточном внешнем давлении воздуха для воздухоопорных конструкций, а для воздулонесомых при высоком давлении под оболочкой.



239. К недостаткам воздухоопорных зданий можно отнести:

- а) высокая сложность и низкая скорость монтажа;
- б) недолговечность;
- в) большой расход материалов;
- г) невозможность перекрытия больших пролетов.

240. Какие оболочки изображены на рисунке?



- а) положительной гауссовой кривизны;
- б) отрицательной гауссовой кривизны;
- в) мягкие оболочки;
- г) нулевой гауссовой кривизны.

## ОТВЕТЫ

1) б; 2) в; 3) г; 4) в; 5) а; 6) б; 7) а; 8) в; 9) б; 10) а; 11) в; 12) г; 13) б; 14) а; 15) в;  
 16) а; 17) г; 18) б; 19) а; 20) а, в, г; 21) в; 22) а; 23) а; 24) в; 25) а; 26) в; 27) б; 28) б; 29) а;  
 30) г; 31) б; 32) в; 33) в; 34) б, в, г; 35) а; 36) а, б, в; 37) в; 38) а; 39) б; 40) а; 41) в; 42) б;  
 43) г; 44) б; 45) б; 46) г; 47) балка; 48) а; 49) а, в, г; 50) в; 51) а-1, б-2, в-3, г-4; 52) б, в;  
 53) б; 54) а; 55) г; 56) в; 57) а; 58) а; 59) а, б; 60) в; 61) а, б, в; 62) б; 63) г; 64) г; 65) ферма;  
 66) а; 67) б; 68) а, б; 69) в; 70) б; 71) г; 72) а; 73) а; 74) а-1, б-2, в-3, г-4, е-5, ф-6; 75) а; 76) а, б;  
 77) б; 78) а; 79) г; 80) а, б; 81) крестовая; 82) раскосная; 83) треугольная;  
 84) шпренгельная; 85) 1-1, 2-2, 3-3, 4-4, 5-5; 86) а; 87) б; 88) рама; 89) а; 90) б; 91) в; 92) а;  
 93) в; 94) а; 95) а; 96) а-1, б-2, в-3, г-4, д-5; 97) а, б, в; 98) а; 99) б; 100) б; 101) б; 102) а; 103)  
 в; 104) арка; 105) а-1, б-2, в-3, г-4, д-5; 106) а; 107) б; 108) г; 109) г; 110) б; 111) а; 112) б;  
 113) а, б; 114) а; 115) г; 116) 1-1, 2-2, 3-3; 117) а; 118) б; 119) в; 120) стрельчатая; 121) а, в,  
 г; 122) а, в, г; 123) а; 124) б; 125) а; 126) а; 127) а, б; 128) а, в; 129) а; 130) г;  
 131) а-1, б-2, в-4, г-3; 132) а-1, б-3, в-2, г-5, д-4, е-6; 133) а-2, б-1; 134) а; 135) а, в, ;  
 136) б; 137) г; 138) б; 139) в; 140) б; 141) б; 142) в; 143) структура; 144) а-1, б-2, в-3, г-4;  
 145) б, в; 146) а, в; 147) а, б; 148) а-2, б-1; 149) а-1, б-2, в-3; 150) а; 151) а, б, в; 152) а, в;  
 153) в, г, е; 154) оболочка; 155) а, в, г; 156) а-1, б-4, в-3, г-1; 157) б; 158) б; 159) а-1, б-2,  
 в-3; 160) 1-1, 2-2, 3-3, 4-4, 5-5, 6-6; 161) а; 162) а; 163) г; 164) в; 165) оболочки; 166) купол;  
 167) а-2, б-1; 168) в; 169) а; 170) а-1, б-3, в-2, г-4; 171) 1-1, 2-2, 3-3, 4-4, 5-5; 172) геодези-  
 ческий; 173) б, в; 174) цилиндрические оболочки; 175) а, г; 176) а; 177) а-1, б-2, в-3, г-4;  
 178) а, г; 179) коническая оболочка; 180) а; 181) а; 182) б; 183) б; 184) б; 185) а; 186) г;  
 187) г; 188) б; 189) в; 190) а; 191) г; 192) г; 193) г; 194) в; 195) г; 196) в; 197) а; 198) а;  
 199) г; 200) а; 201) б; 202) а; 203) а; 204) а; 205) б; 206) г; 207) а; 208) а; 209) б; 210) а;  
 211) б; 212) г; 213) в; 214) г; 215) в; 216) г; 217) г; 218) г; 219) а; 220) в; 221) в; 222) а;  
 223) в; 224) г; 225) б; 226) в; 227) г; 228) б; 229) в; 230) г; 231) а; 232) в; 233) г; 234) б;  
 235) а; 236) в; 237) г; 238) в; 239) б; 240) а.

Учебное издание

Таратута Виктор Дмитриевич,  
Бегельдиев Аскарбий Муратович

**БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ  
И ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

*Учебное пособие*

В авторской редакции  
Дизайн обложки – Н. П. Лиханская

Подписано в печать 23.11.2017. Формат 60 × 84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Усл. печ. л. – 21,7. Уч.-изд. л. – 12,8.  
Тираж 80 экз. Заказ № ...

Типография Кубанского государственного аграрного университета.  
350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13