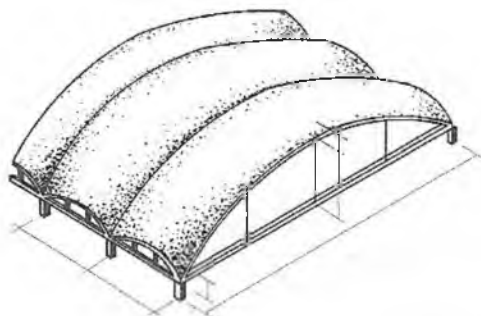
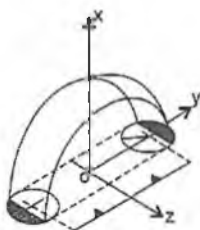


г. Оболочки составной формы поверхности

Формообразование

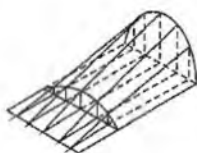
Монолитная оболочка с поверхностью тора

1. Поверхность тора

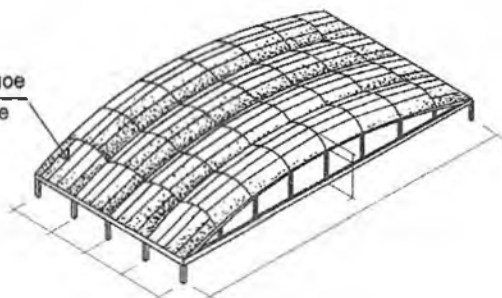


Сборная оболочка с поверхностью коноида

2. Поверхность коноида

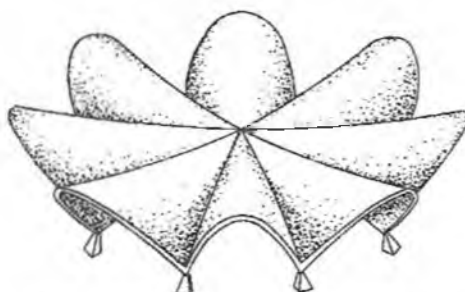
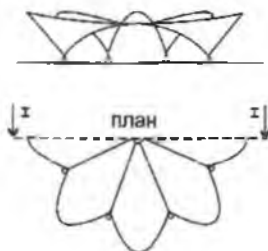


коноидальное
окончание

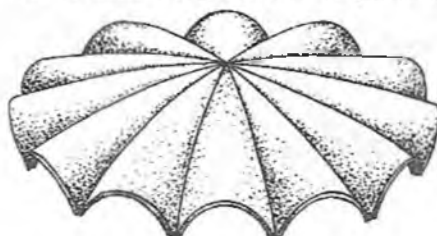
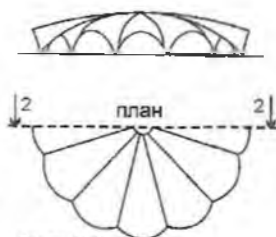


ЗОНТИЧНЫЕ ОБЛОЧКИ

Из элементов отрицательной кривизны



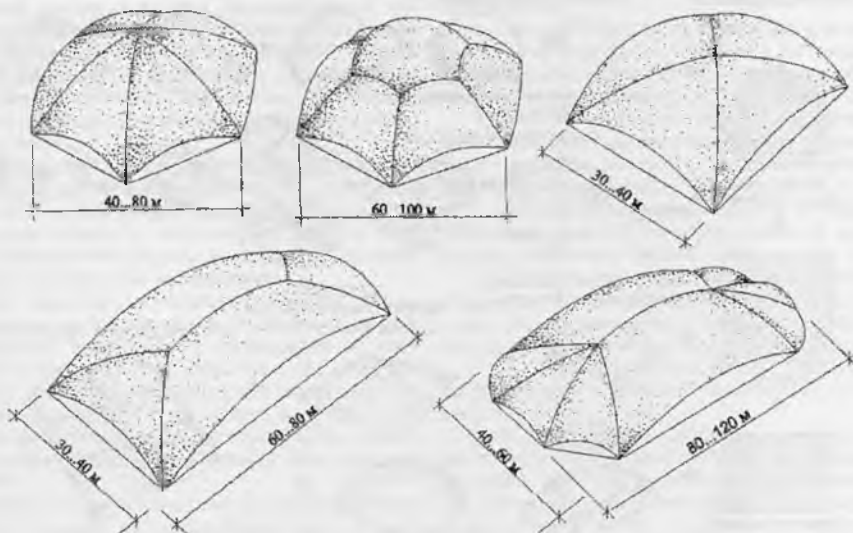
Из элементов положительной кривизны



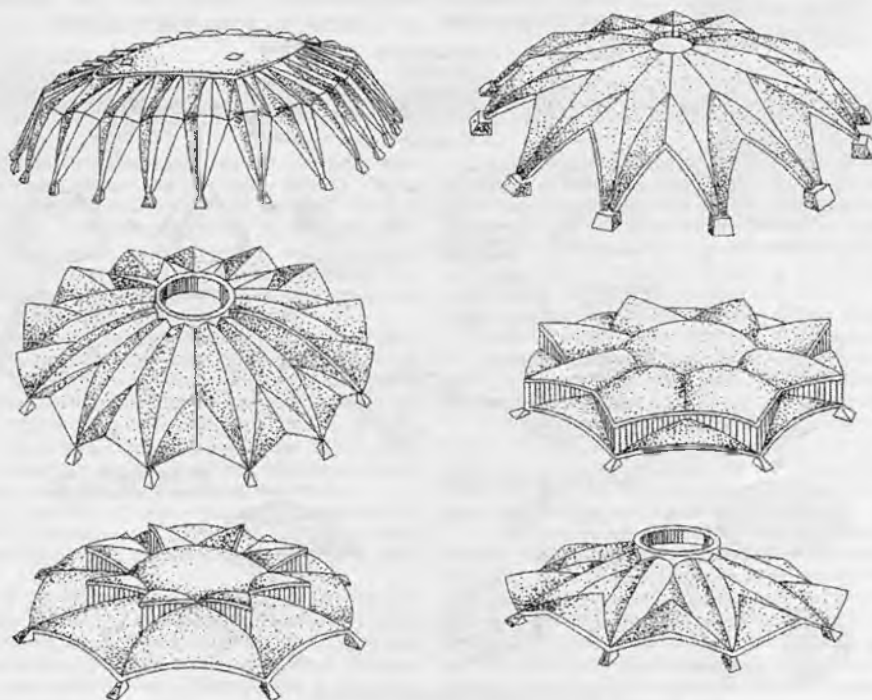
Лист 2.8

КОНСТРУКТИВНЫЕ ФОРМЫ СОСТАВНЫХ ОБОЛОЧЕК С РАЗЛИЧНОЙ ФОРМОЙ ПЛАНА

а. Оболочки из элементов положительной кривизны на полигональном плане

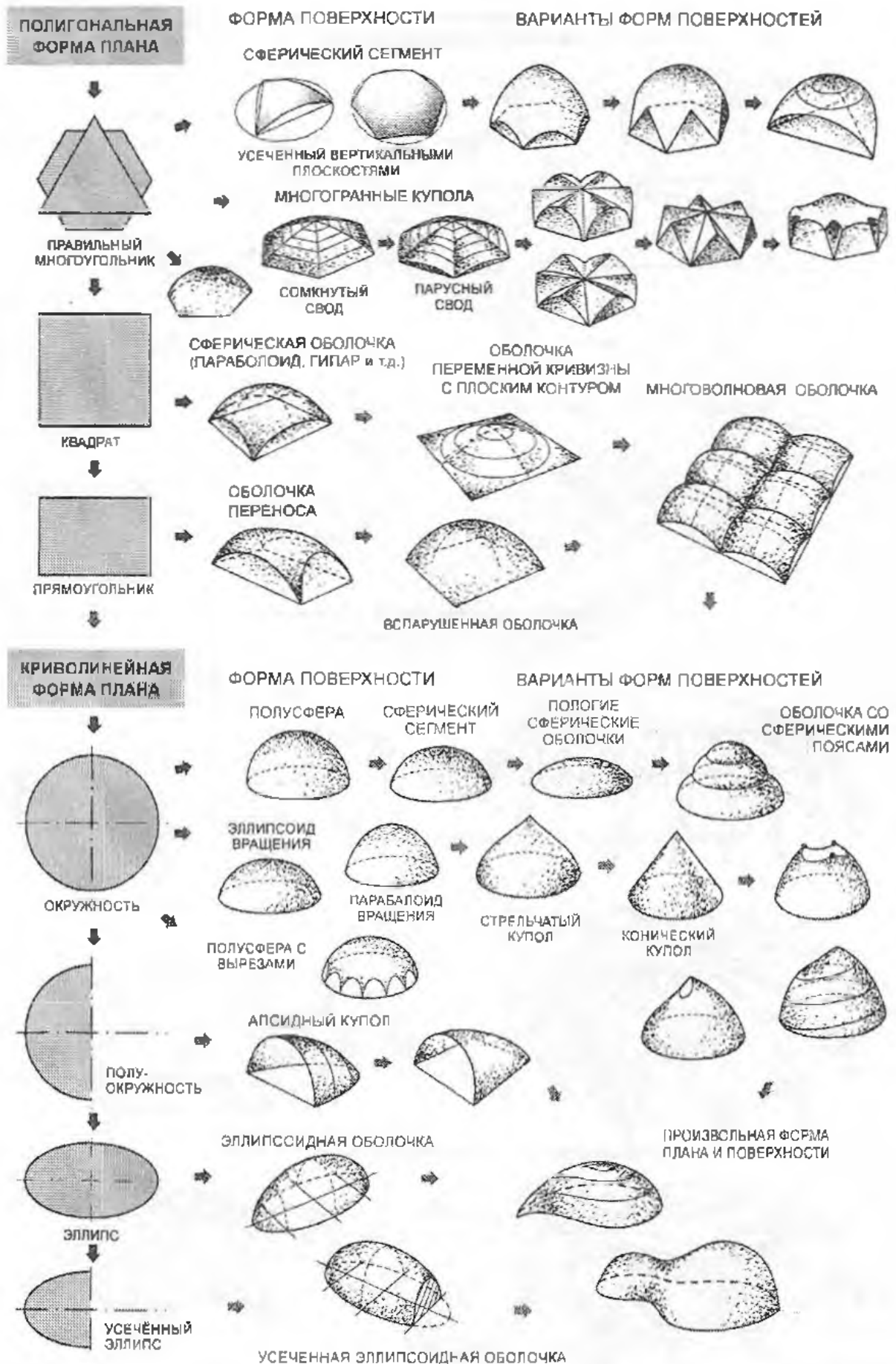


б. Купольно-складчатые оболочки на круглом и овальном плане



Лист 2.9

СВЯЗЬ ПЛАНА И ФОРМЫ ПОВЕРХНОСТИ ЖЕСТКИХ ОБЛОЧЕК



Лист 2.10

2.3.2. Своды

Сводом называется пространственная конструкция покрытия (оболочка), имеющая геометрическую форму выпуклой криволинейной поверхности нулевой кривизны. Поверхность свода может быть очерчена любой выпуклой кривой – дугой окружности, параболой и др. Призматический (многогранный) свод состоит из прямолинейных участков, вписанных в соответствующую кривую.

Свод – наиболее древняя и широко распространенная система криволинейного покрытия. На его основе был создан целый ряд архитектурных форм прошлого, позволивших решить проблему перекрытия зальных помещений с различным функциональным назначением.

По профилю поперечного сечения своды делятся на цилиндрические (с прямолинейной образующей поверхности), складчатые и волнистые (лист 2.11) [16]. Придание своду в определенном направлении складчатого (треугольного, трапециевидного) или волнистого очертания повышает жесткость и несущую способность покрытия, придает ему дополнительные пластические качества.

Простейшим и наиболее распространенным является гладкий цилиндрический свод, опирающийся на параллельно расположенные опоры (стены, ряды столбов, аркады и т.п.). В поперечном сечении свод представляет собой часть окружности, эллипса, параболы и др. Отдельную

группу составляют стрельчатые своды, образованные двумя участками гладкой кривой с изломом в ключе.

По конструктивной форме сводчатые покрытия бывают отдельно стоящие и составные, а по структурным особенностям – гладкие, ребристые (подкрепленные), сетчатые и др. (лист 2.11).

Два цилиндрических свода одинаковой высоты, пересекающиеся под прямым углом, образуют составное покрытие, которое получило название крестовый свод.

Для перекрытия треугольных и квадратных в плане зданий используется составное покрытие в виде сомкнутого свода.

В практике современного строительства сводчатые покрытия выполняются из железобетона (сборного и монолитного), армированного бетона, древесины и синтетических материалов.

В сводах возникают усилия распора и для их восприятия устраиваются затяжки, контрфорсы и т.п. конструкции.

К достоинствам сводчатых покрытий можно отнести совмещение несущих и ограждающих функций, простоту разрезки на сборные элементы, хорошие технико-экономические показатели. Недостатками таких покрытий являются ограниченность в выборе формы плана, увеличение строительного объема здания, необходимость в устройстве конструкций, воспринимающих распор и т.д.

2.3.3. Купола

Купол (итал. cupola – купол, свод, от лат. cupula; уменьшительное от сира – бочка) – пространственное покрытие здания двойной кривизны. Формы купола образуются вращением различных выпуклых кривых вокруг вертикальной оси. По этому признаку (виду образующей) купола бывают сферическими, эллипсоидальными, стрельчатыми и др. (Лист 2.12) [16].

Как и другие типы покрытий в виде оболочек, купола состоят из тонкой криволинейной плиты, нижнего растянутого опорного контура и верхнего сжатого кольца, служащего также в качестве светового и аэрационного проема. Основными геометрическими параметрами таких покрытий являются пролет (диаметр перекрываемого здания), стрела подъема и толщина плиты.

По величине стрелы подъема различают пологие (f/D меньше или равно $1/5 \dots 1/10$) и подьемистые купола (f – стрела подъема; D – диаметр).

По конструктивной схеме купола бывают гладкие, ребристые, ребристо-кольцевые, складчатые, сетчатые и геодезические. По структурным особенностям (строению плиты) купола бывают сплошные, решетчатые (стержневые) и пластинчатые (кристаллические).

Покрытия в виде куполов применяют для перекрытия круглых, эллиптических или многоугольных в плане зданий различного назначения пролетами до 150 и более метров. Если куполом завершается прямоугольная в плане ячейка здания, переход от квадрата к круглому (или эллиптическому) основанию купола решается с помощью специальных сводов – парусов или тропов.

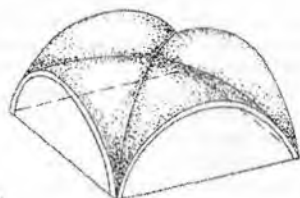
Материалами для купольных покрытий могут служить железобетон (сборный и монолитный), армированный бетон, древесина, конструкционные пластмассы, а также различные ткани и пленки.

В куполе обычно возникают как вертикальные сжимающие, так и горизонтальные усилия (распор), которые передаются на поддерживающую его конструкцию или воспринимаются нижним (опорным) кольцом самого купола.

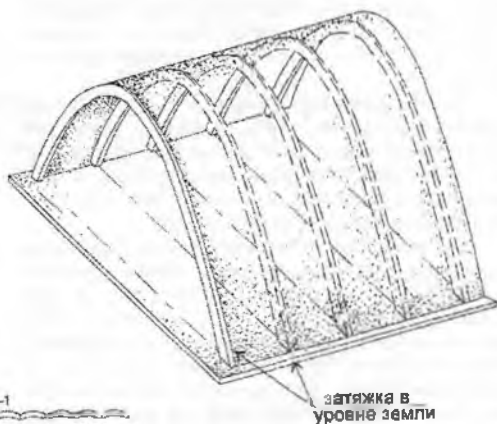
К достоинствам куполов следует отнести наиболее эффективное использование материала и простоту водоотвода. Недостатками таких покрытий являются большой строительный объем перекрываемого здания и трудности создания требуемых акустических характеристик (форма купола не способствует созданию диффузного звукового поля). Область применения купольных покрытий: спортивные сооружения, цирки, рынки и т.д.

СВОДЧАТЫЕ ПОКРЫТИЯ РАЗНОВИДНОСТИ СВОДОВ

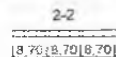
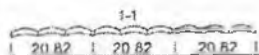
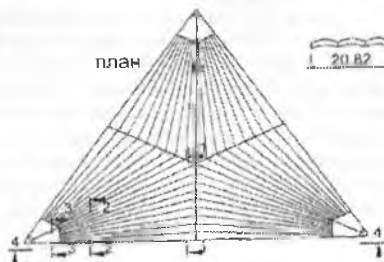
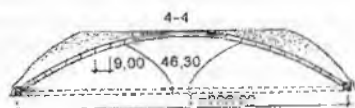
Крестовый свод



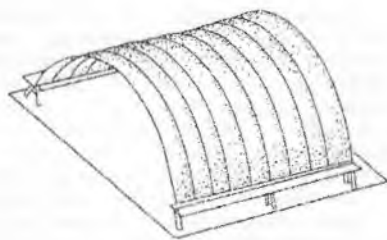
Рибристый свод



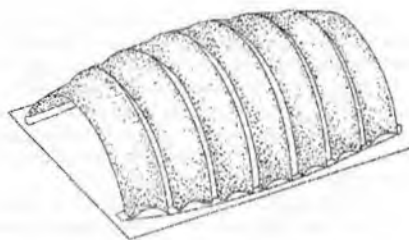
Сомкнутый свод на треугольном плане



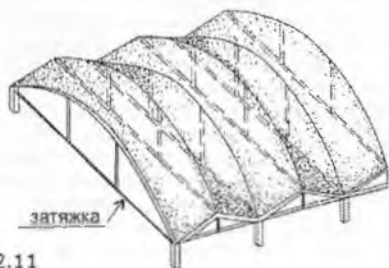
Волнистый свод



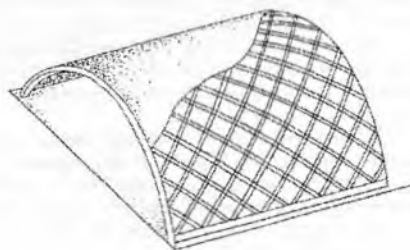
Тороидальный волнистый свод



Складчатый свод



Кружально-сетчатый свод



Лист 2.11

ПОКРЫТИЯ В ВИДЕ КУПОНОВ

Формообразование

Разновидности купонков
(по конструктивной схеме)

Оболочка вращения

Гладкий купон



В зависимости от вида образующей:

сферический



эллиптический



параболический



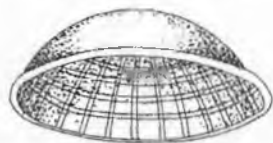
стрельчатый



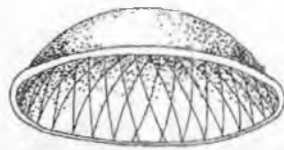
Ребристый



Ребристо-кольцевой



Сетчатый



↑
вид снизу

Складчатый



Волнистый



Геодезический



↑
вид сверху

Лист 2.12

ПРИМЕРЫ ОСУЩЕСТВЛЕННЫХ ПОКРЫТИЙ В ВИДЕ ЖЕСТКИХ ОБОЛОЧЕК

а. Железобетонные апсидные купола (оболочки)
покрытия театра в г. Сидней (Австралия)



б. Четырехгранные шатровые (железобетонные) оболочки покрытия
терминала С международного аэропорта в Нью-Джерси (США)

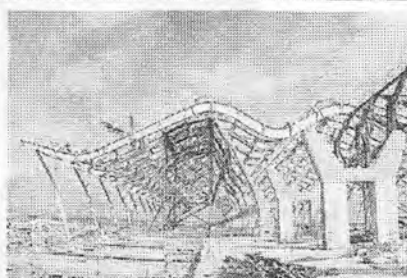


в. Пластмассовая (армированный фибергласс) пологая четырехлепестковая оболочка
покрытия оздоровительного комплекса отеля "Hilton" в Стамбуле (Турция)

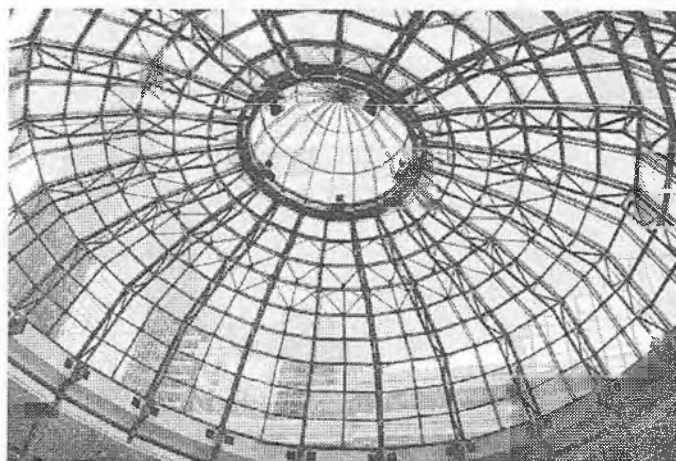


ПРИМЕРЫ ОСУЩЕСТВЛЕННЫХ ПОКРЫТИЙ В ВИДЕ ЖЕСТКИХ ОБОЛОЧЕК (продолжение)

г. Терминал №4 аэропорта "Бараджас" в Мадриде (Испания).
Покрытие - многоволновая стальная решетчатая оболочка.
Потолок - ламинированные планки из китайского бамбука

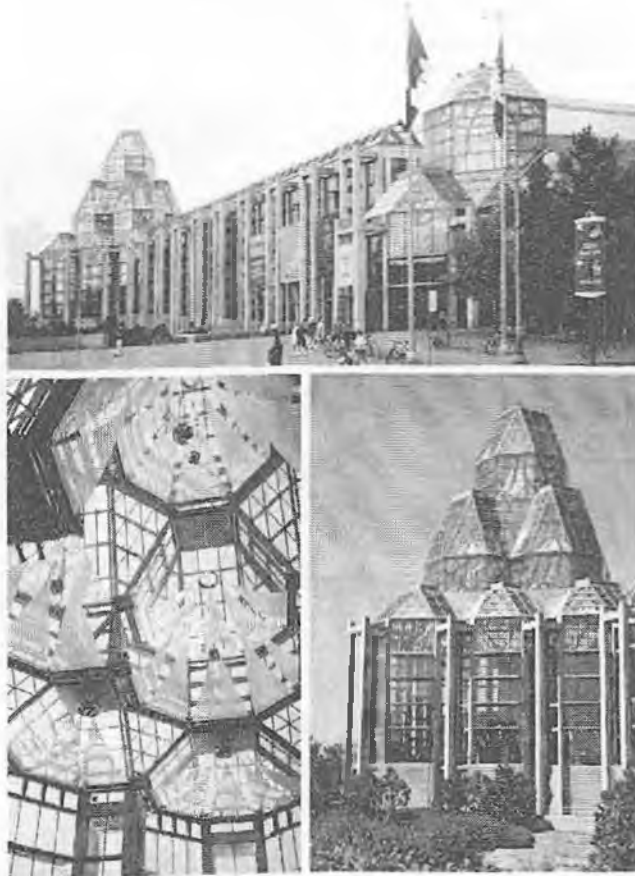


д. Торгово-офисное здание в Филадельфии (США)
Покрытие - стальной решетчатый ребристо-кольцевой купол.



ПРИМЕРЫ ОСУЩЕСТВЛЕННЫХ ПОКРЫТИЙ В ВИДЕ МНОГОГРАННИКОВ

д. Национальная художественная галерея в Оттаве (Канада).
Покрывшие входной группы и одного из залов - многогранный шатер составной формы.
Несущие конструкции - стальные, ограждение - стекло.



е. Театральный комплекс для ЭКСПО 2010 в Шанхае (Китай).
Здание запроектировано в виде призматоида с трансформируемыми элементами
наружного ограждения. (Проект "Hoberman Associates", AGU Group, Arup & Partners)



3. СИСТЕМЫ РЕГУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ. КЛАССИФИКАЦИЯ И РАЗВИТИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ФОРМ

Среди большого разнообразия конструкций, применяемых в современном строительстве, особое место занимают системы регулярной структуры (СРС).

К системам регулярной структуры (СРС) относятся плоские (плиты) и пространственные конструкции зданий или сооружений (оболочки), образуемые повторяющимися однотипными ячейками из стержневых или пластинчатых элементов. Практика современного строительства имеет немало примеров применения покрытий в виде систем регулярной структуры для зданий самого различного назначения – общественных, производственных, сельскохозяйственных и др. Находят применение СРС и как элементы крупноразмерных стен зданий.

В качестве ограждающей части в покрытиях с применением СРС чаще всего используют металлические профилированные листы или трехслойные панели с металлическими обшивками. Как правило, настил опирают непосредственно

на элементы верхнего пояса.

Опоры располагают либо по контуру покрытия, либо в отдельных точках как по периметру, так и внутри контура [37, 50].

В зависимости от объемно-планировочного решения здания покрытия с применением СРС могут быть выполнены в виде плит, складок, оболочек (сводов, куполов), а также использоваться в качестве элементов комбинированных систем.

По форме поверхности системы регулярной структуры подразделяются на плоские (плиты) и пространственные (оболочки).

По конструктивной форме их можно разделить на перекрестно-ребристые, структурные плиты (стержневые и пластинчатые), а также сетчатые и пластинчатые оболочки.

По структурным особенностям пространственные системы регулярной структуры выполняются одно-, двух- и многослойными.

Классификация СРС представлена на рис. 3.1.

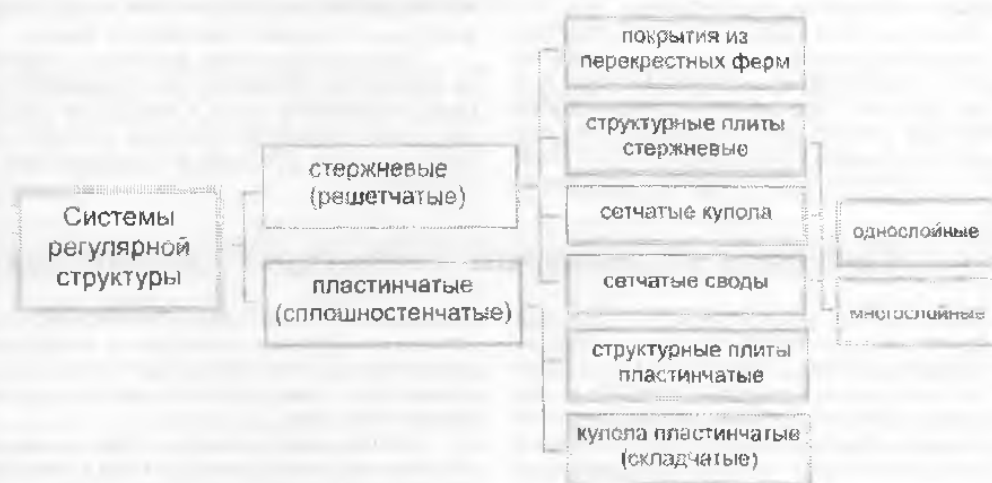


Рис. 3.1. Классификация пространственных конструкций в виде систем регулярной структуры

В системах регулярной структуры (независимо от формы и конструктивного решения) всегда можно выделить следующие типы образующих их элементов – это узлы, линейные (стержневые), плоские или пространственные (стержневые или пластинчатые) элементы, которые можно назвать структурообразующими ячейками. Соединенные между собой в узловых соединениях в определенном порядке эти элементы и образуют системы регулярной структуры.

К достоинствам СРС следует отнести возможность перекрывать здания любой формы плана, свободно располагать опоры, создавать консольные свесы и отверстия для зенитных

фонарей, сравнительно малую строительную высоту покрытия ($1/20 - 1/35 L$).

Из однотипных элементов, изготовленных в заводских условиях, можно создавать покрытия со сложным профилем поперечного сечения в виде односкатных и двускатных покрытий, шатров, сводов, куполов и т.п. Сложная форма покрытий и достаточно свободная расстановка опор создают предпосылки для создания рациональных объемно-планировочных решений и выразительных архитектурных форм. Системы регулярной структуры великолепно смотрятся в интерьере без каких-либо декоративных элементов типа подвесных потолков и пр.

Покрытия с применением СРС отличаются повышенной надежностью от внезапных разрушений, максимальная унификация элементов и узлов, небольшие транспортные расходы, простота сборки и монтажа. Возведение таких покрытий сводится к простой операции сборки (соединению в узлах) структурообразующих ячеек. Причем сборку конструкций можно производить на уровне земли и монтировать (поднимать) покрытия либо целиком, либо крупными блоками.

К недостаткам некоторых типов СРС специалисты относят достаточно высокие требова-

ния по точности изготовления элементов и повышенный расход стали.

Область применения СРС весьма обширна. Они используются в качестве покрытий зданий самого различного назначения: общественных (для зальных помещений торгово-бытового и спортивно-зрелищного назначения), производственных, сельскохозяйственных, транспортных. В последние годы эти системы находят применение не только для покрытий, но также в качестве несущих конструкций перекрытий и стен.

3.1. Перекрестно-ребристые покрытия

Перекрестно-ребристые покрытия представляют собой систему перекрещивающихся в двух или в трех направлениях балок или ферм с параллельными поясами и опирающийся на эту систему настил (лист 3.1, а). Настил (плита) может выполняться из сборного или монолитного железобетона, металла, древесины. За счет создания перекрестной системы появляется возможность уменьшить высоту ферм или балок до $1/6 - 1/24$ пролета. Расстояние между ребрами назначают в пределах от 1,5 до 6 м.

Такие системы эффективны для перекрытия квадратных или прямоугольных в плане помещений с отношением сторон от 1:1 до 1,25:1. При дальнейшем увеличении этого отношения конструкция теряет свои преимущества, превращаясь в обычную балочную систему. В перекрестных системах целесообразно устраивать

консоли с вылетом до $1/5 - 1/4$ пролета.

Перекрестно-ребристые покрытия проектируются стальными, железобетонными и деревянными. Железобетонные перекрытия и покрытия, выполненные в виде кессонов, рациональны в зданиях с пролетами 18–36 м. При больших пролетах необходимо использовать стальные или железобетонные фермы. Деревянные перекрестные системы эффективны для пролетов до 24 м. При значительных нагрузках и больших пролетах в качестве ребер очень эффективны стальные трехгранные фермы.

Пространственная жесткость перекрестно-ребристых покрытий обеспечивается жестким соединением ферм в местах их пересечения и конструкциями настила, который может быть выполнен сборным или монолитным в виде плиты.

3.2. Системы регулярной структуры стержневые

Как уже отмечалось выше, к стержневым системам регулярной структуры относятся структурные плиты, составленные из таких плит шатры (многогранники) и сетчатые оболочки (цилиндрические, конические, парусные, купола и т.д.). Конструктивные формы стержневых пространственных систем представлены на рис. 3.2.

Однопоясные системы (рис. 3.2, а и б) используют только в пространственных покрытиях – цилиндрических сводах, куполах, гипарах и т.д. Двухпоясные системы, как правило,

применяют в структурных плитах (рис. 3.2, в), однако при больших пролетах и значительных нагрузках они становятся эффективными и для покрытий в виде оболочек различной формы поверхности (рис. 3.2, г и д).

Элементы решетчатых стержневых систем обычно выполняются из стали или алюминиевых сплавов. Но есть большое количество примеров использования в таких покрытиях древесины, а также комбинации различных материалов, например, сжатых элементов из древесины, а растянутых из металла.

3.2.1. Структурные плиты стержневые

Для стержневых элементов применяют стальные гнутые или прокатные профили, а также профили из алюминиевых сплавов. Наибольшее распространение получили профили круглого и квадратного сечения. Применение таких профилей позволяет существенно снизить массу конструкций, но затрудняет конструкции узловых соединений. Поэтому наряду с закрытыми (трубчатыми) профилями находят применение прокатные профили двутаврового,

швеллерного, углового сечения, которые позволяют упростить конструкцию узловых соединений.

Конструктивное решение стержневых плит позволяет использовать их не только в плоских покрытиях, но открывает широкие возможности для проектировщиков при разработке покрытий сложного профиля – двухскатных, шедовых, произвольного профиля и т.п. (лист 3.2) [37, 48, 50].

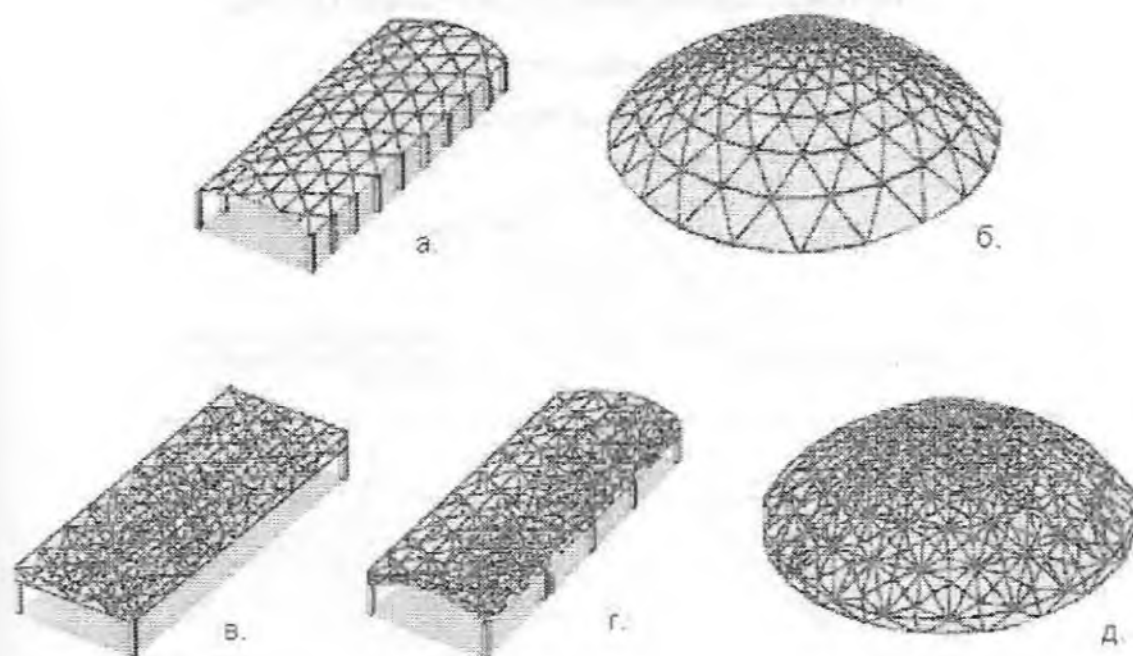


Рис. 3.2. Конструктивные формы стержневых систем регулярной структуры:
а, б – однопоясные; в, г, д – двухпоясные

Вариантов опирания стержневых плит на опоры достаточно много. В одном случае это опирание отдельных узлов структуры непосредственно на колонны, в другом – опирание с использованием жестких капителей и пространственных опор (лист 3.2). Во втором случае опорными являются уже несколько узлов структуры, что благоприятно сказывается на распределении усилий в ее стержнях.

Расположение опор в покрытиях с использованием стержневых плит определяется планировочным решением перекрываемого помещения. И тут проявляется одно из главных преимуществ этих конструкций – возможность размещения опор в любой зоне как по периметру, так и внутри контура плиты (лист 3.3). При этом плита может иметь консольные участки, а элементы стенового ограждения – располагаться внутри контура перекрытия.

Двухпоясные решетчатые плиты состоят из двух плоских решетчатых поясов и раскосов или стоек между ними. Ячейкам поясов придается форма квадрата, равностороннего треугольника или правильного шестиугольника (см. лист 3.1, б). Плиты собираются из элементов только двух типов: стержневых, которые могут иметь одинаковую длину, и узловых – одинаковых для разных конструкций.

Ячейки верхнего пояса располагают либо точно над ячейками нижнего пояса, либо со смещением. Квадратные ячейки смещаются на половину стороны ячейки в каждую сторону, треугольные – на одну треть стороны. При таких смещениях обеспечивается одинаковая длина всех раскосов между поясами.

В литературных источниках описываются примеры применения в разных поясах разных по форме решеток. Например, треугольных в одном поясе и шестиугольных – в другом.

При выборе схемы размещения опор надо учитывать статические и конструктивные особенности стержневых плит – увеличение внутренних усилий при редкой сетке колонн и необходимость усиления опорных узлов, воспринимающих значительные нагрузки. Например, для квадратной в плане плиты наиболее рациональным является опирание каждой стороны на две колонны, расположенные от углов плиты на расстоянии $\frac{1}{4}$ пролета.

При внутриконтурном опирании с образованием консольных свесов рекомендуется отношение вылета консоли к пролету принимать в пределах 0,1 – 0,3 [32].

Узловые соединения

В зависимости от способа соединения элементов все узловые соединения подразделяются на три группы (лист 3.4):

- болтовые соединения, исключающие сварку как в заводских условиях, так и при монтаже и позволяющие собирать структуры только на болтах или подобных сборочных деталях;
- комбинированные соединения, допускающие сварку в заводских условиях и сборку на болтах в условиях строительной площадки;
- сварные соединения, осуществляемые на строительной площадке.

Рекомендации по применению тех или иных видов узловых соединений в различных компоновочных схемах структурных плит можно найти в справочной литературе [45, 48, 49].

СИСТЕМЫ ПОКРЫТИЙ РЕГУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ

а. Покрытия из перекрестных ферм

1. Покрытия из перекрестных ферм двух направлений



2. Покрытия из перекрестных ферм трех направлений



б. Покрытия в виде плит регулярной структуры

1. Стержневые плиты

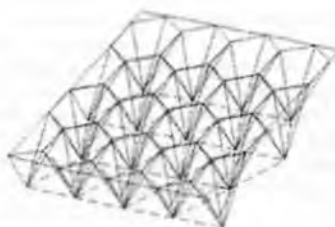
Из пирамид с квадратным основанием



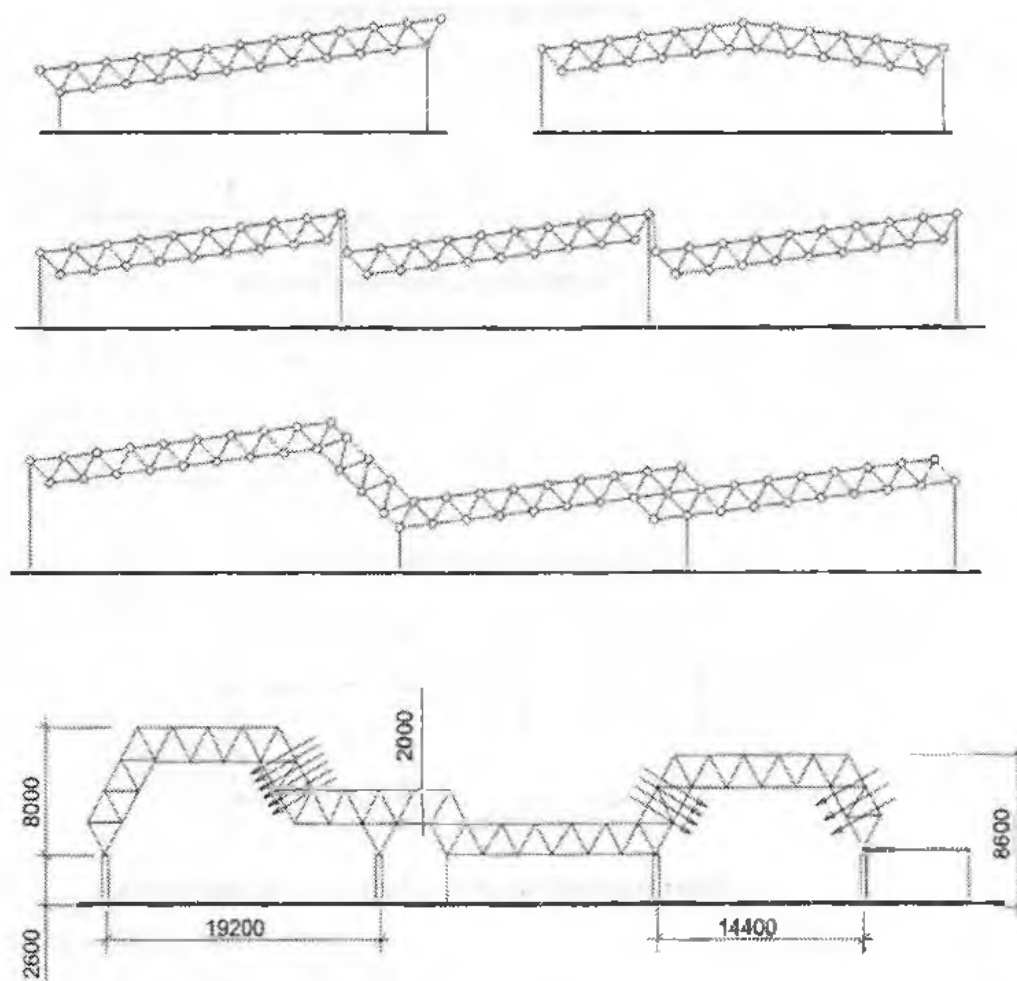
Из пирамид с треугольным основанием



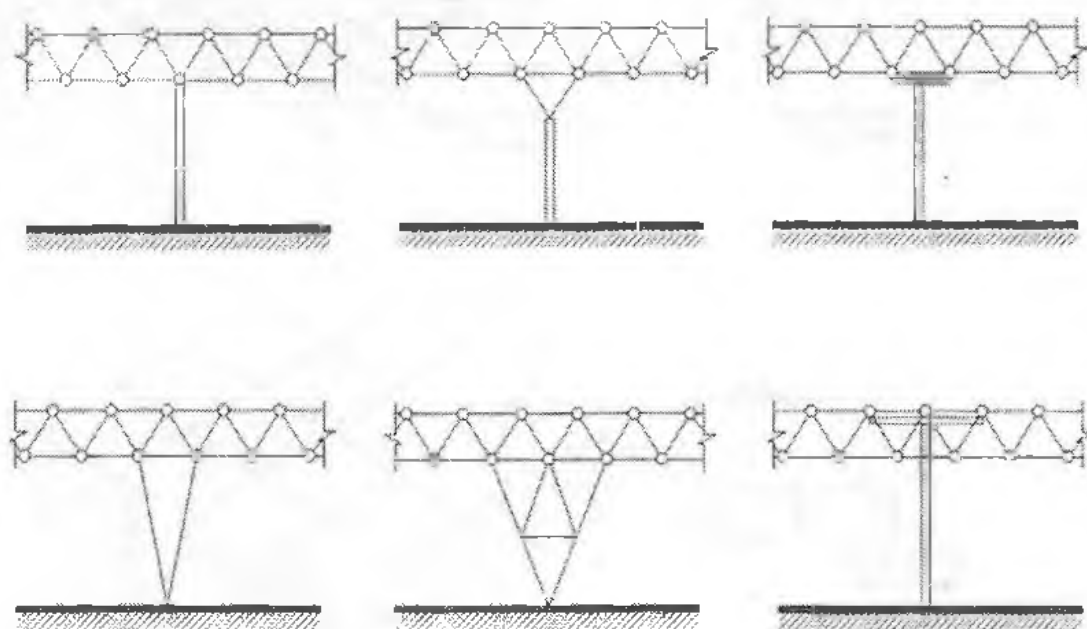
Из пирамид с шестиугольным основанием



Профили покрытий в виде стержневых плит



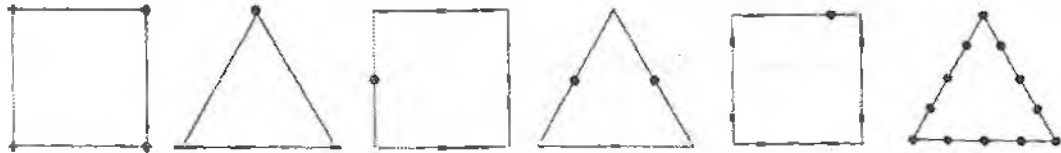
Варианты опирания покрытий в виде стержневых плит



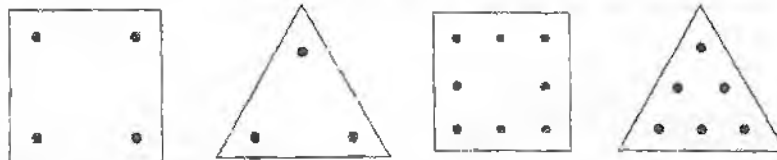
Лист 3.2

Варианты размещения опорных элементов покрытий в виде стержневых плит

а. Размещение опор по контуру



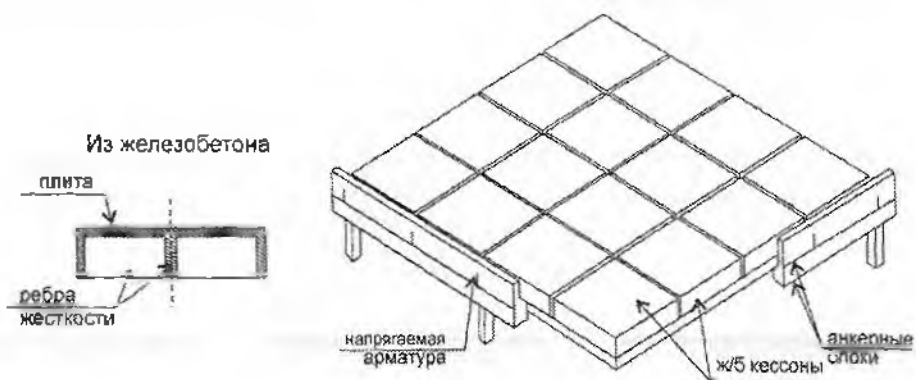
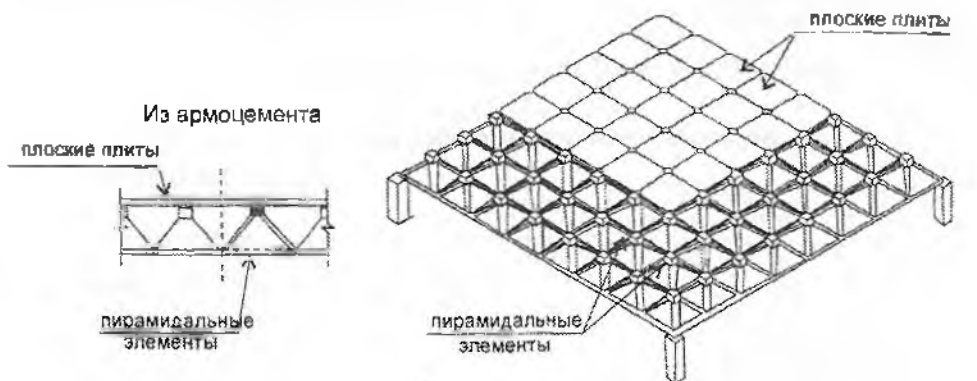
б. Размещение опор внутри контура



в. Комбинированное размещение опор

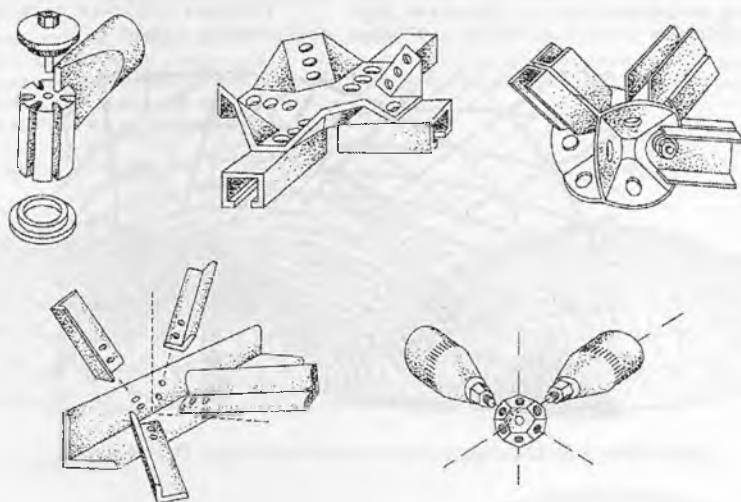


2. Плиты регулярной структуры пластинчатые

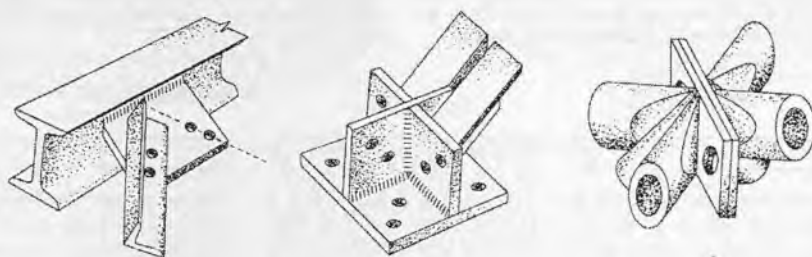


УЗЛОВЫЕ СОПРЯЖЕНИЯ СТЕРЖНЕЙ СТРУКТУРНЫХ ПЛИТ

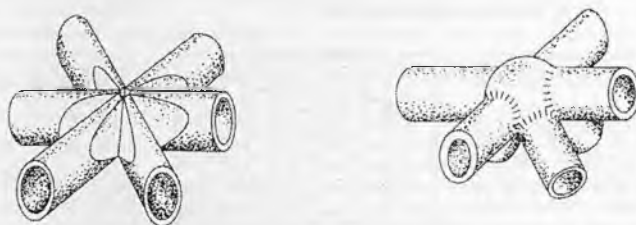
а. Болтовые



б. Комбинированные



в. Сварные



Лист 3.4

3.2.2. Сетчатые своды, купола

Пространственная стержневая конструкция, узлы которой лежат на некоторой поверхности, образует сетчатую оболочку. В зависимости от формы поверхности различают сетчатые цилиндрические и конические оболочки (оболочки нулевой кривизны); сетчатые

купола и оболочки переноса (оболочки положительной кривизны).

В этом разделе рассматриваются вспарушенные (подъемистые) сетчатые оболочки.

Сетчатые оболочки висячего типа рассматриваются в главе 4.

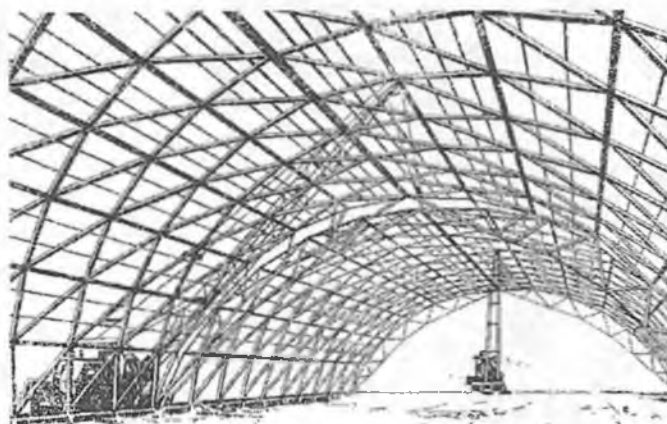


Рис. 3.3. Цилиндрический сетчатый свод Вуппермана

По структурным особенностям сетчатые оболочки могут быть однополосными, двух-, а иногда и трехполосными (см. рис. 3.2, в, г, д). Однополосные оболочки проще в конструктивном решении и монтаже, но из-за возможности потери устойчивости их пролеты ограничены.

Другим признаком, по которому можно разделить сетчатые оболочки на отдельные группы, является структура или форма ячейки стержневой сетки, которая может быть квадратной, треугольной, ромбической, шестиугольной и т.д. (рис. 3.4).

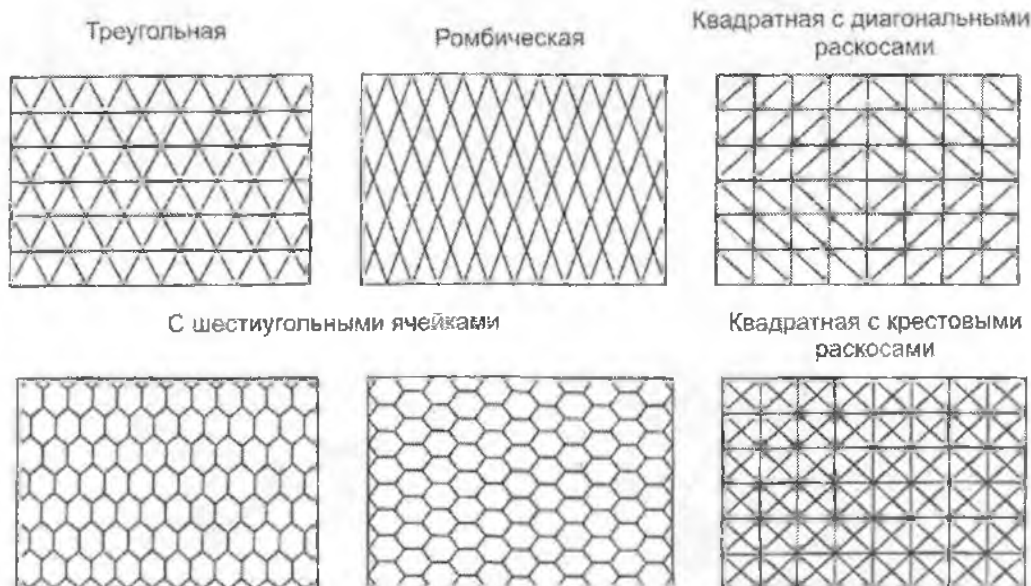


Рис. 3.4. Форма ячеек поясной сетки свода

и положи-
я в спару-
очки.
типа рас-

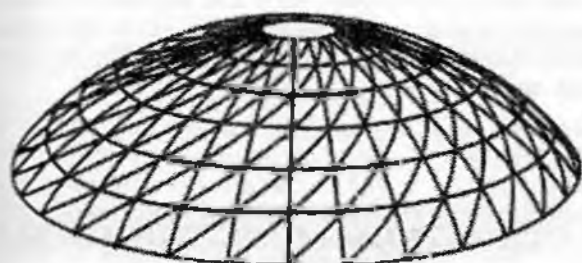
Сетчатые своды выполняются в виде сеток с одинаковыми ячейками. Простейшая конструкция сетчатого цилиндрического свода образуется при изгибании плоской сетки с треугольными ячейками вдоль семейства параллельных прямых (в продольном направлении). Чтобы обеспечить геометрическую неизменяемость системы, сетку закрепляют в плоскости торцов оболочки.

Сетчатые купола представляют собой многогранники, вписанные в сферическую или другую поверхность вращения и состоящие из одного слоя конструктивных элементов. Покрытия в виде сетчатых куполов проектируются

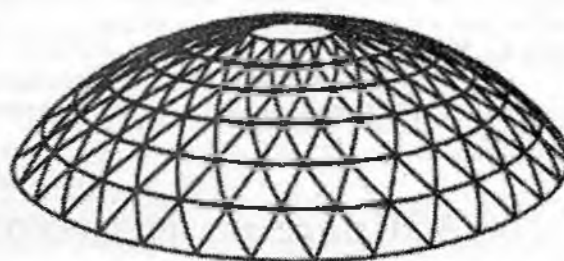
в основном металлическими, однако известны примеры их выполнения из железобетона и древесины (даже из картона!).

Главная особенность сетчатых куполов, являющаяся следствием их формы, это пространственная работа, обеспечивающая благоприятные условия работы образующих купол элементов и возможность отказаться от вертикальных поддерживающих элементов типа колонн, стен и т.п. Кроме того, сферический купол перекрывает максимальную площадь при минимальной собственной поверхности.

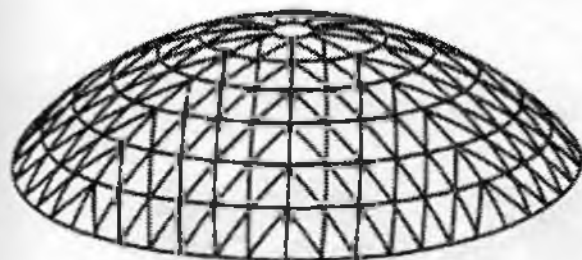
Купол Шведлера



Купол Фелля



Купол Чивитта



Купол Чебышева

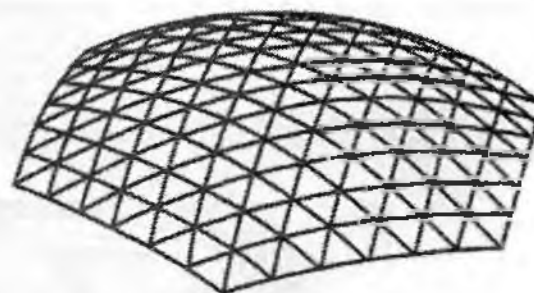


Рис. 3.5. Конструктивные формы сетчатых куполов

Способов построения сетчатых куполов достаточно много [12, 27, 39, 45, 50]. Для относительно пологих покрытий используются схемы, обладающие осевой симметрией. Все они состоят из определенного числа зеркально симметричных секторов. Форма поверхности может быть любая, но чаще всего используется сферическая.

Основными схемами построения купола являются:

- ребристо-кольцевая со связями в каждой ячейке (купол Шведлера);
- звездчатая (купол Фелля);
- схема Чивитта;
- схема «ромб».

Недостатком схем Шведлера и Фелля является сгущение сетки в верхней части, что усложняет конструкцию узлов и приводит к необходимости устройства центрального кольца большого диаметра.

В схеме Чивитта этих недостатков нет, что позволило использовать ее при проектировании и строительстве самых больших в мире купольных покрытий в Хьюстоне (США) – пролет 195,6 м; высота 28,4 м и в Новом Орлеане (США) – пролет 207,3 м; высота 32 м [45].

В основе построения сетчатого купола с ромбической ячейкой лежит правильная сеть Чебышева. Эта схема образует наиболее равномерную сеть, в которой все линии стержней плавно переходят друг в друга, следуя кривизне покрытия.

Для сферических куполов предложено большое количество схем или способов построения сферических сетей с использованием симметрии правильных многогранников.

Наибольшее распространение в практике проектирования получили два способа. Первый – с использованием при разбивке геодезических линий на сфере додекаэдра (правильно-

можно
дельные
ячейки
вадрат-
гольной

ями

ии

и

го многогранника, имеющего 12 граней-пятиугольников); второй – построение 720-гранника на основе усеченного икосаэдра (правильный икосаэдр – многогранник, имеющий 20 граней-треугольников).

При первом способе, автором которого является известный американский инженер Р.Б. Фуллер, исходная сеть состоит из 60 одинаковых равнобедренных сферических треугольников, каждый из которых в дальнейшем разбивается с таким расчетом, чтобы по оси симметрии исходного треугольника укладывалось определенное число одинаковых равнобедренных треугольников.

Во втором способе, предложенным советским архитектором М.С. Туполевым, исходная сеть состоит из 180 равнобедренных треугольников, при последующей разбивке которых и образуется треугольная сеть на сфере, состоящая из 720 ячеек.

Идея «геодезических куполов» появилась в результате исследований в области картогра-

фии, а именно переноса сферической поверхности земли на плоскость с минимальными искажениями.

Свой первый геодезический купол Букминстер Фуллер (1895–1983) построил в 1952 г. в Woods Hole, Массачусетс (США) для местного ресторана. Диаметр этого купола был всего 18 м.

В 1959 году для Американской национальной выставки в Москве, проходившей в Сокольниках, был построен так называемый «золотой купол» (он был окрашен в золотой цвет). В дальнейшем он использовался как выставочный павильон для экспозиции американского искусства.

За прошедшие годы во всем мире построено более трехсот тысяч «геодезических куполов», которые используются не только как выставочные павильоны, но и как ангары, склады, эксплуатируются как жилища в местах со сложными погодными условиями, например, на Южном полюсе (см. рис. на листе 3.4) [60].

3.3. Системы регулярной структуры пластинчатые

К пластинчатым системам регулярной структуры относятся плиты из армоцементных элементов пирамидального или криволинейно-

го очертания и оболочки (купола) из тонкостенных профилированных элементов из стали или алюминиевых сплавов.

3.3.1. Структурные плиты пластинчатые

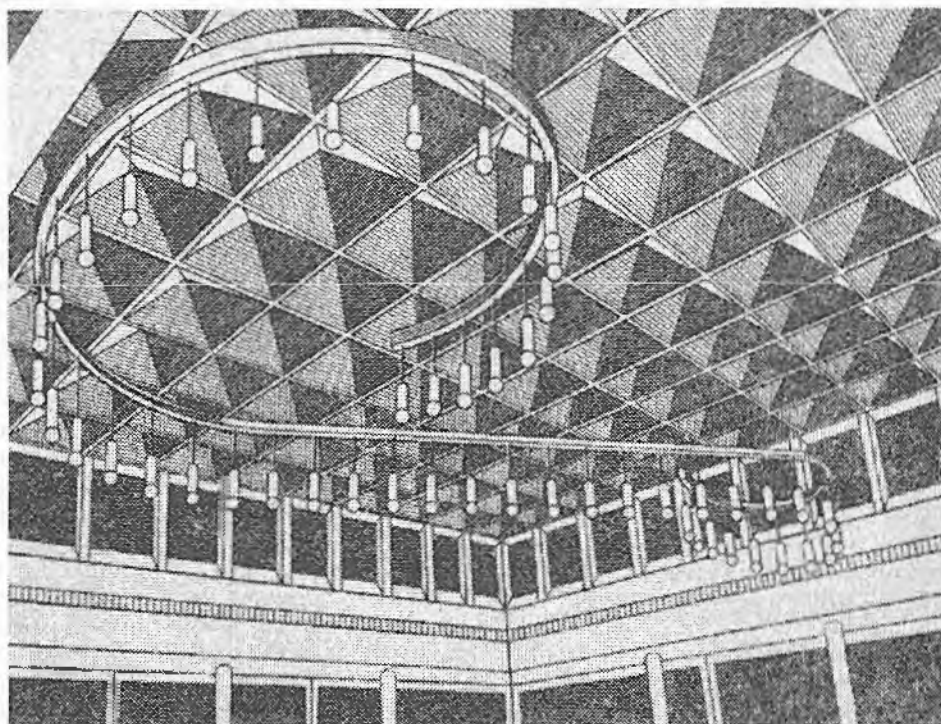


Рис. 3.6. Интерьер зала с покрытием в виде плиты из армоцементных элементов

Плиты регулярной структуры из армоцемента (рис. 3.6) собираются из тонкостенных многогранников пирамидальной формы с открытой нижней гранью и плоских тонкостенных плит, укладываемых между вершинами пирамид (см. лист 3.3). После объединения всех элементов между собой, которое осуществляется сваркой закладных деталей, конструкция приобретает необходимую жесткость и по своей работе приближается к двухпоясным стержневым плитам — структурам. Причем роль стержней, соединяющих пояса структуры, выполняют грани пирамид, а поясные сетки образуются ребрами открытых граней и плоскими плитами настила.

Структурные плиты из армоцементных

элементов отличают выразительный интерьер, не требующий устройства подвесного потолка; достаточно высокие акустические качества; возможность устройства естественного освещения через покрытие; малая строительная высота; возможность перекрытия залов с произвольным планом, повышенная огнестойкость.

Разработанные в институте ЛенЗНИИЭП варианты структурных плит из армоцементных элементов предназначены для перекрытия зальных помещений гражданского назначения пролетами 12...48 м. Целесообразны такие конструкции и в качестве междуэтажных перекрытий в зданиях с разреженной сеткой колонн и большими полезными нагрузками [24, 29, 45].

3.3.2. Своды, купола пластинчатые

К пластинчатым сводам и куполам относятся оболочки (многогранники), образованные из соединенных между собой в определенном порядке тонкостенных (стальных или из алюминиевых сплавов) профилированных элементов.

Более подробную информацию о покрытиях в виде пластинчатых сводах и куполах можно найти в [15, 16, 45, 50].

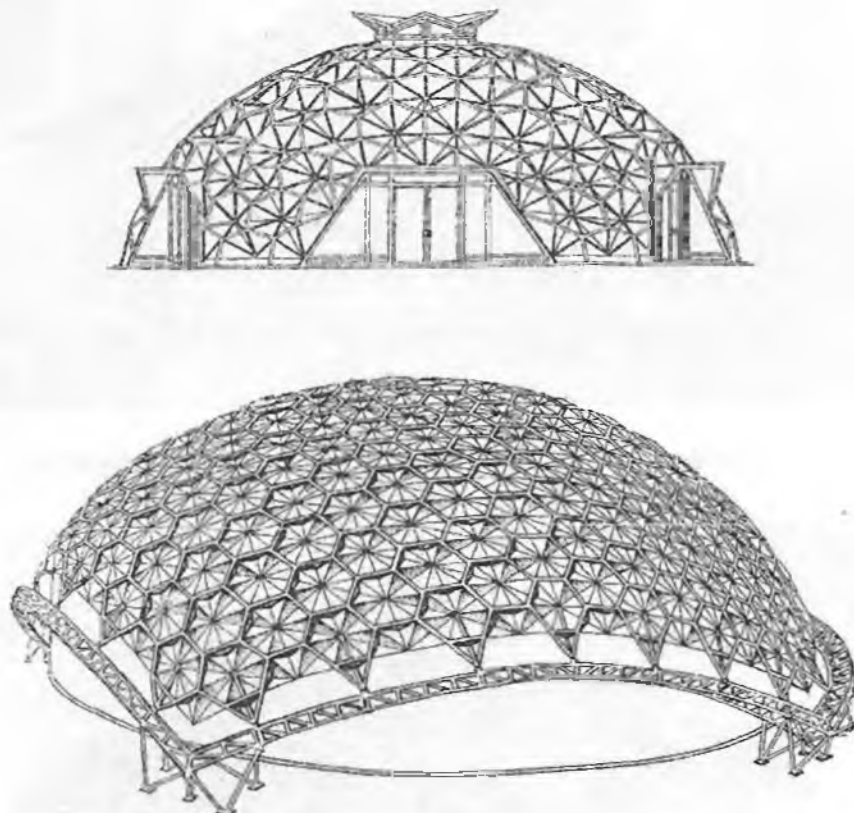
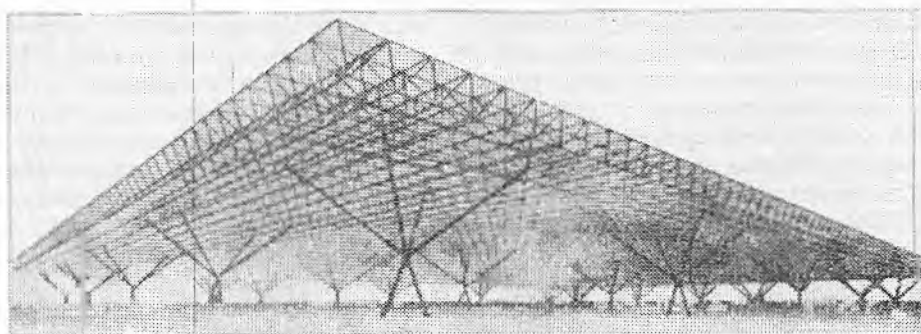


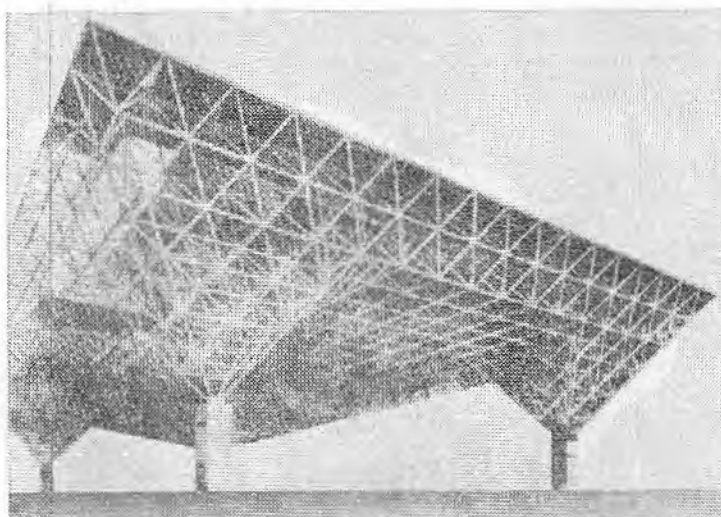
Рис. 3.7. Пластинчатые купола

**ПОКРЫТИЯ В ВИДЕ СИСТЕМ РЕГУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ
(стержневые плиты и четырехгранный шатер)**

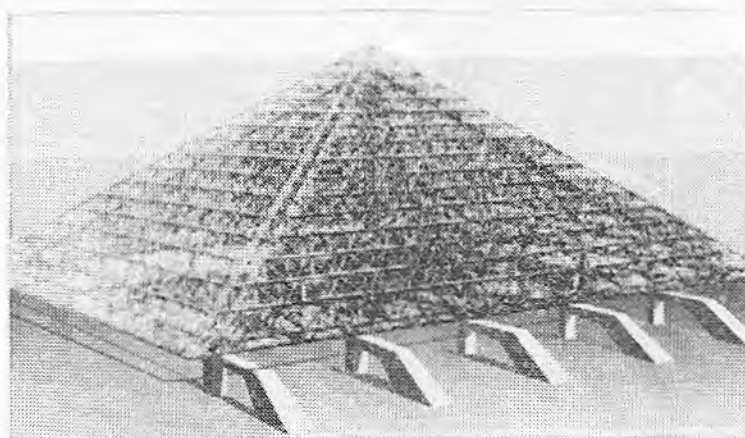
**а. Двухпоясная плита покрытия выставочного
павильона в г. Сан-Пауло (Бразилия)**



**б. Трехпоясная плита покрытия выставочного
павильона в г. Денвер (США)**



в. Двухпоясное шатровое покрытие рынка в г. Тольятти



ПРИМЕРЫ ОСУЩЕСТВЛЕННЫХ ПОКРЫТИЙ В ВИДЕ СИСТЕМ РЕГУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ (продолжение)

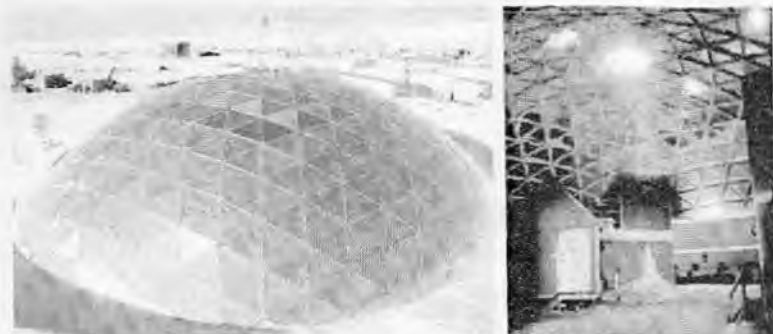
г. Стальная стержневая структурная плита автозаправочной станции
в Иерусалиме (Израиль) Диаметр 18 м, высота плиты 1,2 м, 4 опоры по периметру
Кровля - мембрана из тефлона



д. Двухспойная стержневая плита стен и покрытия
офисного здания в Нью-Йорке (США)



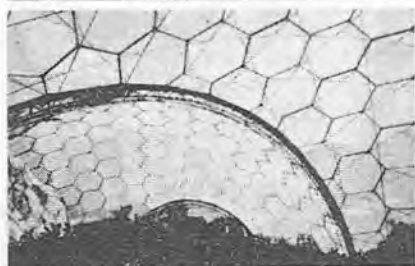
е. Однополюсной сетчатый купол американской научной станции
Амундсена-Скотта на Южном Полюсе (Антарктида)



Лист 3.4

**ПРИМЕРЫ ОСУЩЕСТВЛЕННЫХ ПОКРЫТИЙ
В ВИДЕ СИСТЕМ РЕГУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ
(продолжение)**

ж. Пересекающиеся двухлопастные светопрозрачные геодезические купола
ботанического сада в Корнуолле (Англия). Проект - "Nicholas Grimshaw & Partners".
Ограждение - "подушки" из светопрозрачного этилететрафторэтилена



з. Светопрозрачная сетчатая оболочка сложной формы поверхности.
Покрытие Большого Двора Королевы Елизаветы Британского музея в Лондоне.
(Norman Foster and Partners)



Лист 3.5

4. ВИСЯЧИЕ ПОКРЫТИЯ. КЛАССИФИКАЦИЯ И РАЗВИТИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ФОРМ

Висячими называют покрытия, основные несущие элементы которых, перекрывающие пролет здания, работают на растяжение. Составными частями практически всех типов висячих покрытий являются собственно покрытие (пролетная часть) и опорный контур, воспринимающий реакции от пролетной конструкции. По характеру воспринимаемой нагрузки и очертанию несущие элементы пролетной части висячих покрытий подразделяются на два вида – висячие и вантовые.

Висячие элементы воспринимают поперечную нагрузку от закрепленных на них конструкций настила или подвесок и передают ее на опоры. Поэтому они имеют криволинейное очертание и выполняются в виде гибких тросов, канатов, тонколистовых мембран, висячих балок (нитей «с конечной изгибной жесткости – «жестких нитей») или ферм. В свою очередь, висячие фермы могут быть выполнены либо из гибких тросов, либо из жестких прокатных или гнутых элементов.

Ванты или подвески – это прямолинейные гибкие растянутые стержни, не воспринимающие поперечной нагрузки по своей длине и передающие усилия растяжения от одного узла крепления к другому (или на анкерные элементы). К этому типу висячих элементов относятся и так называемые струны – предварительно натянутые ванты.

Впервые в мировой практике висячие покрытия были предложены выдающимся русским инженером Владимиром Григорьевичем Шуховым. По его проектам в 1886 году на Нижегородской ярмарке были построены четыре павильона, основным несущим элементом покрытий которых был шатер из пересекающихся стальных полос (см. рис. 4.4). Это были однопоясные покрытия – все несущие элементы шатров располагались в одной поверхности [18, 25, 47].

Следующий шаг в развитии конструктивных форм висячих систем связан с использованием в качестве несущих элементов высокопрочных стальных канатов и тонколистовых мембран, а также созданием разнообразных двухпоясных и комбинированных (арочно-вантовых, мембранно-стержневых и т.д.) систем.

При проектировании висячих покрытий необходимо учитывать их основной недостаток – повышенную деформативность при действии временной, односторонней нагрузки, так называемую «геометрическую нелинейность». Эта деформативность связана с изменением первоначальной равновесной формы висячей системы при ее загрузке местной односторонней или сосредоточенной нагрузкой. Такие перемещения, не связанные с прогибами вследствие упругих деформаций, получили название «кинематических». Уменьшить кинематические перемещения

можно за счет усложнения конструктивной схемы (введения оттяжек, дополнительных жестких элементов и т.п.), а также за счет предварительного натяжения [18, 39, 45].

Способов стабилизации формы (уменьшения кинематических перемещений) за счет предварительного натяжения достаточно много. Эти способы зависят как от формы покрытия, так и от его конструктивного решения. Одним из самых простых является увеличение массы (собственного веса) покрытия за счет использования в качестве настила жестких плит и последующего омоноличивания их стыков, т.е. превращение системы отдельно работающих плоских элементов в пространственно работающую систему. Этот способ позволяет уменьшить упругие прогибы и кинематические перемещения в 4–5 раз, однако приводит к дополнительным затратам не только на несущие конструкции, но и на конструкции, воспринимающие увеличенные усилия распора.

Следующий способ стабилизации формы висячих и вантовых покрытий – создание двухпоясных систем, т.е. включение в конструкцию покрытия дополнительных поясов, связанных с основным несущим поясом растяжками, подвесками, распорками и т.п. элементами, с помощью которых можно создать в элементах системы предварительное натяжение. К этому способу можно отнести и создание в элементах покрытия усилий предварительного натяжения за счет избыточного давления воздуха, нагнетаемого в пространство между поясами (пневматические конструкции).

Еще одним способом обеспечения сохранности формы однопоясных покрытий любой формы поверхности является включение в их работу изгибно жестких несущих или стабилизирующих элементов типа балок, ферм и т.п. – так называемых «жестких нитей». Для покрытий отрицательной кривизны (седловидных), в которых провисающие элементы являются несущими, а вспарушенные стабилизирующими; предварительное натяжение достаточно просто можно создать за счет натяжения стабилизирующих тросов.

Теперь о классификации висячих систем покрытий.

Во-первых, как и любой тип пространственных покрытий, висячие системы могут быть разделены по форме поверхности на системы нулевой, положительной и отрицательной гауссовой кривизны. Такие покрытия могут иметь и сложную, произвольную или составную форму поверхности.

Во-вторых, об этом уже говорилось выше, по структурным особенностям висячие покрытия могут быть однослойными, многослойными и комбинированными.

В третьих, и это главный признак, в зависимости от конструктивных и статических особенностей, а также способа обеспечения жесткости пролетных элементов висячие покрытия можно разделить на *подвесные* (покрытия с внешними вантами), *вантовые*, *висячие оболочки*, *покрытия с жесткими нитями* и *комбинированные системы* (рис. 4.1).

В свою очередь, вантовые покрытия (как и некоторые другие типы висячих покрытий) могут быть однослойными и двухслойными. К однослойным относятся вантовые (тросовые) сетки; к двухслойным – покрытия из плоских или пространственных тросовых ферм.

Подробнее о каждом типе висячих покрытий будет рассказано в следующих разделах настоящей главы.

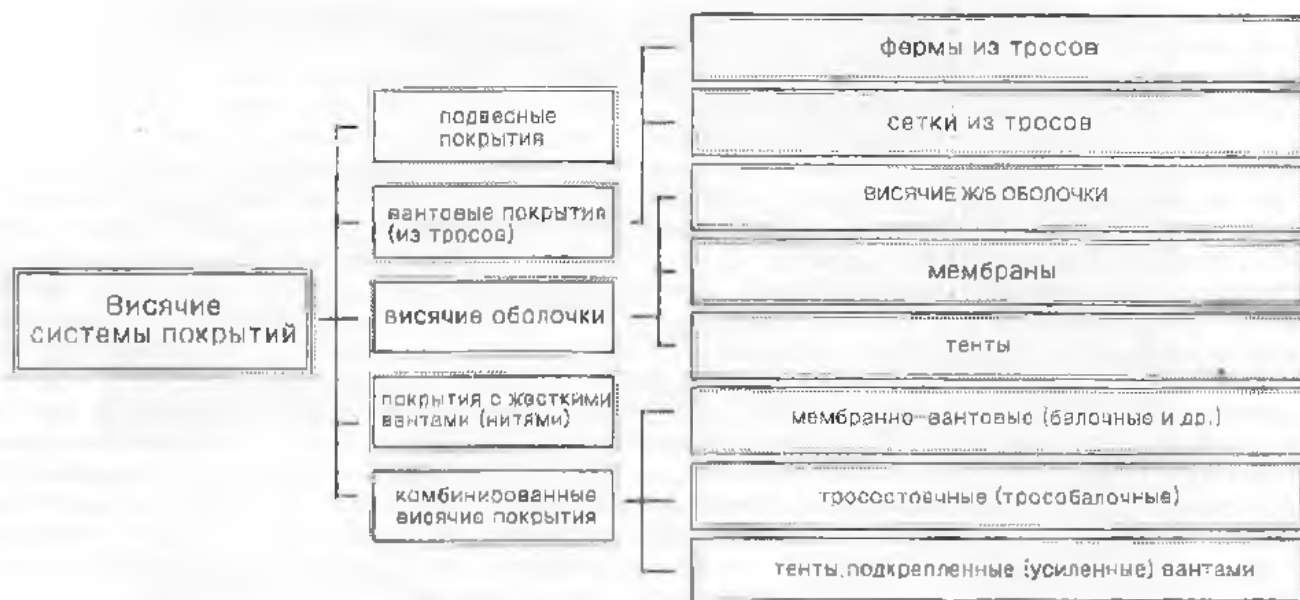


Рис. 4.1. Классификация висячих покрытий

4.1. Подвесные покрытия

Основными конструктивными элементами таких покрытий являются наклонные пилоны или вертикальные стойки и подвешенные к ним с помощью растянутых нитей (вант) жесткие плоские или пространственные элементы типа ферм, балок, плит, оболочек и т.д. Поэтому подвесные покрытия можно рассматривать и как комбинированные системы.

Напомним, что ванта – это конструктивный элемент (трос, канат и т.д.), расчетной схемой которого может служить гибкая нить.

Вантовые подвески и оттяжки разгружают несущие элементы покрытий, что позволяет снизить возникающие в них внутренние усилия и уменьшить их поперечное сечение. Использование такой системы покрытий позволяет перекрывать здания и сооружения очень больших пролетов. Достаточно сказать, что пролеты современных висячих мостов достигают нескольких километров, а пролеты подвесных покрытий спортивных сооружений составляют сотни метров.

Подвесные покрытия имеют большую жесткость, чем другие вантовые системы. Жесткость таких покрытий обеспечивается их большой собственной массой или предварительным натяжением оттяжек, которое осуществляется с помощью специальных натяжных приспособлений – муфт. К числу недостатков следует отнести наружное расположение вант, подвергающихся коррозии и температурным перепадам. Первое усложняет эксплуатацию покрытий (требует специальной защиты и постоянного контроля), второе вызывает вертикальные смещения подвешенной системы.

Учитывая особенности этого вида покрытий, не рекомендуется использовать в них горизонтальные или слабо наклоненные ванты.

Область применения подвесных покрытий: спортивные залы и выставочные павильоны, промышленные объекты (фабрики, гаражи и т.п.).

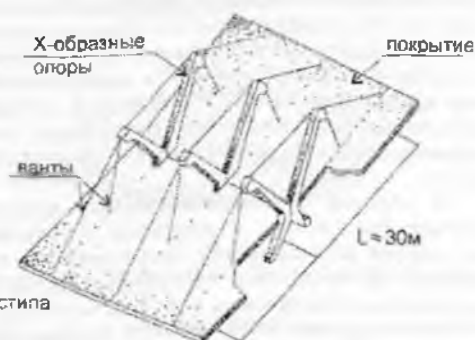
Примеры конструктивных решений приведены на листе 4.1 [25].

ПОДВЕСНЫЕ ПОКРЫТИЯ

Двухпролетное покрытие
с вертикальными опорами



Двухконсольное покрытие
с X-образными опорами



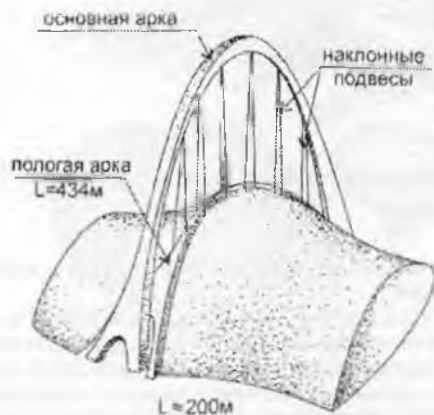
С опорами в виде двух арок



С опорами в виде трех
наклонных пилонов



С опорной аркой и покрытием
в виде сетчатой оболочки (проект)



С двумя вертикальными опорами
и покрытием в виде
ребристой оболочки



Лист 4.1.

4.2. Вантовые покрытия

К вантовым относятся покрытия, пролетная конструкция которых образована системой гибких нитей, закрепленных на опорном контуре или заанкеренных в фундаменте. Напомним, что гибкая нить характеризуется пренебрежимо малой жесткостью на изгиб и кручение, а также равномерным распределением напряжений растяжения в сечениях, нормальных к их продольной оси.

В отличие от железобетонных висячих оболочек (см. 4.3.1), в вантовых покрытиях конструкции ограждающей части (настил) при действии вертикальных нагрузок допускается не включать в совместную работу с вантами.

Как и другие типы висячих систем, вантовые покрытия являются распорными. Восприятие распора от пролетной конструкции возможно либо при помощи жесткого опорного контура, работающего на сжатие, изгиб или кручение, либо при помощи оттяжек, заанкеренных в грунт или контрфорс. В некоторых типах вантовых покрытий распор воспринимается гибким опорным контуром (трос-подбором), в котором отсутствуют напряжения изгиба и кручения.

Гибкая нить как элемент строительных конструкций известна с древнейших времен. Достаточно вспомнить висячие мосты, выполненные из растительных материалов – лиан, бамбука и пр. Как элемент покрытий гибкая нить применяется сравнительно недавно, с конца XIX века.

Основное преимущество вантовых покрытий – их экономическая эффективность за счет более рационального использования материала. Теоретические расчеты и практика строительства показывают, что вантовые покрытия дают возможность перекрывать рекордно большие пролеты без промежуточных опор. Основные признаки, по которым можно разделить все вантовые покрытия на отдельные группы, такие же, как и для всех висячих систем – это геометрия поверхности, форма плана, тип и геометрия опорного контура, способ стабилизации и пр.

При этом основными признаками классификации именно этого вида висячих систем можно считать конструктивную схему и структурные особенности. По этим признакам вантовые покрытия можно разделить на *однопоясные* и *двухпоясные*.

4.2.1. Однопоясные вантовые покрытия

К однопоясным относятся покрытия, все элементы которых (несущие и стабилизирующие) располагаются в одном, достаточно тонком слое. В свою очередь, однопоясные вантовые покрытия с учетом конструктивной схемы пролетной части выполняются либо плоскими

из предварительно натянутых прямолинейных вант (так называемые «струнные покрытия», рис. 4.2), либо пространственными в виде системы отдельных (параллельных или радиальных) вант или вантовых сеток, имеющих нулевую, положительную или отрицательную кривизну.

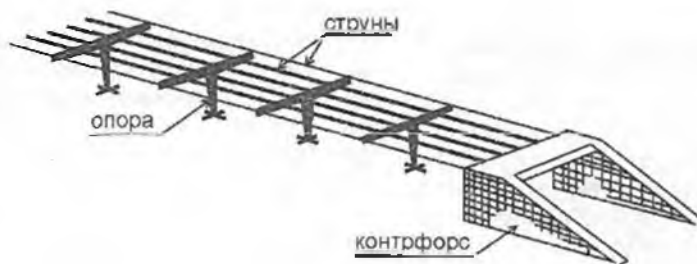


Рис. 4.2. Конструктивное решение многопролетного струнного покрытия

В зависимости от конкретных условий проектирования, применяемых материалов, формы поверхности и т.п. вантовая сеть может иметь различную конфигурацию ячеек, их размеры и ориентацию относительно главных кривизн поверхности, т.е. разную структуру. Сети, в которых закон образования структуры одинаков для всех участков поверхности, называются

регулярными, в остальных случаях – нерегулярными.

Для однослойных вантовых сеток, имеющих положительную кривизну, характерны прямоугольная (ортогональное пересечение вант), треугольная (пересечение вант в трех направлениях), шестиугольная и нерегулярная ячейки (рис. 4.3) [51].

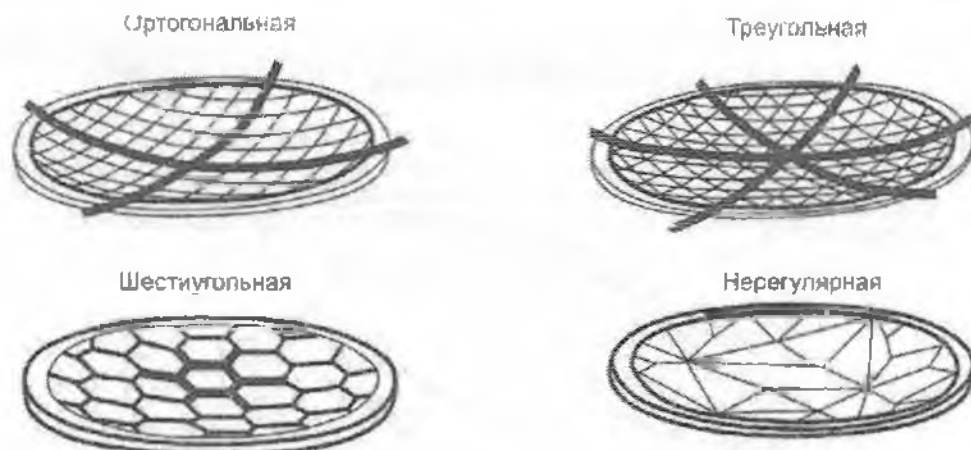


Рис. 4.3. Конфигурация ячеек однослойных вантовых сеток положительной кривизны

Основным недостатком вантовых покрытий нулевой и положительной кривизны является необходимость стабилизации формы за счет увеличения собственного веса ограждающих элементов (устройства так называемого «пригруза»).

Для вантовых сеток седловидной формы (поверхности отрицательной кривизны, рис. 4.4 и рис. на листе 4.2) этот недостаток устраняется за счет разделения вант на несущие и стабилизирующие. Несущие (провисающие) ванты воспринимают вертикальные нагрузки, действу-

ющие сверху вниз, а стабилизирующие (вспарушенные – ванты противоположного знака кривизны) воспринимают отрицательные нагрузки снизу вверх. Стабилизация формы поверхности таких покрытий обеспечивается предварительным напряжением системы пересекающихся вант, которое легко создается путем их натяжения к опорному контуру с помощью специальных приспособлений (муфт, домкратов и пр.). При натяжении ванты обоих направлений стремятся выпрямиться и тем самым напрягают друг друга и всю систему в целом.

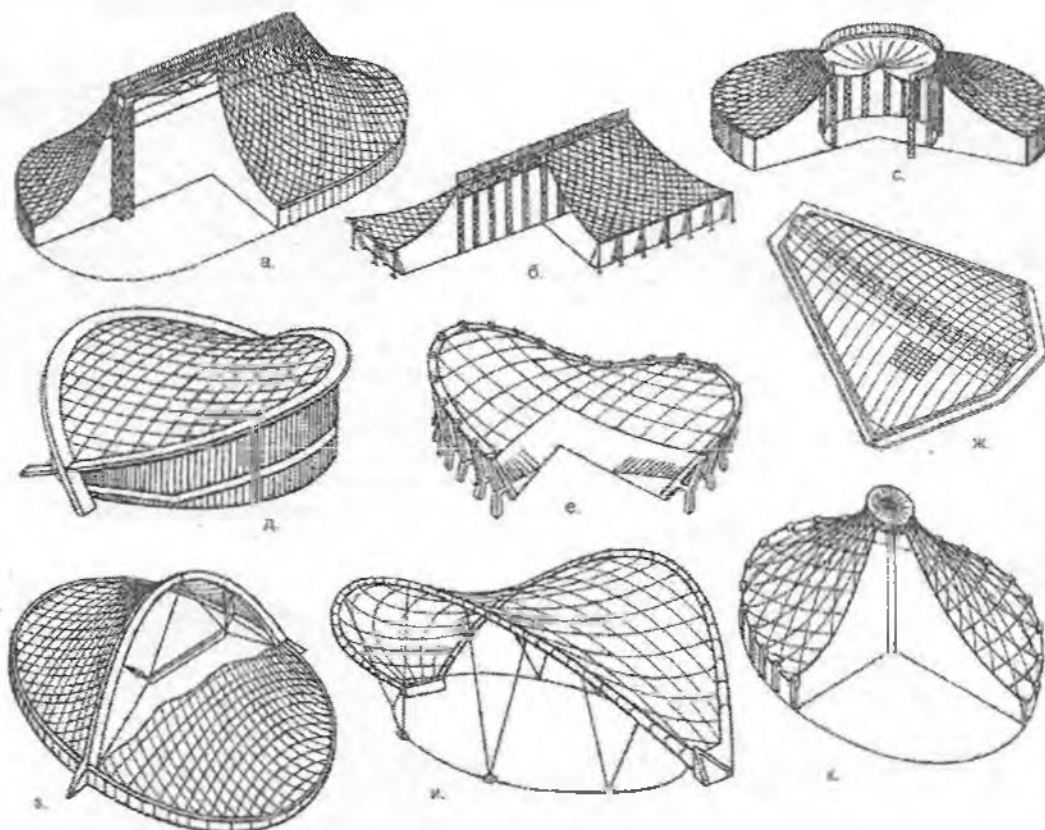
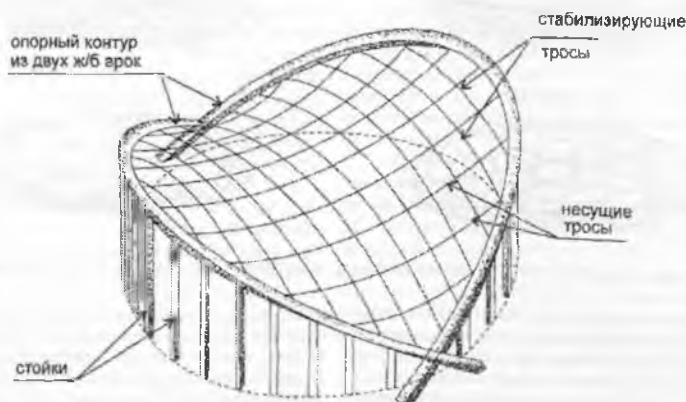


Рис. 4.4. Конструктивные формы однополосных вантовых покрытий отрицательной кривизны: а, б, с – сетчатые оболочки В.Г. Пухова; д-к – покрытия различной конфигурации плана и конструкции опорных элементов

Б. ВИСЯЧИЕ ПОКРЫТИЯ В ВИДЕ ТРОСОВЫХ СЕТОК

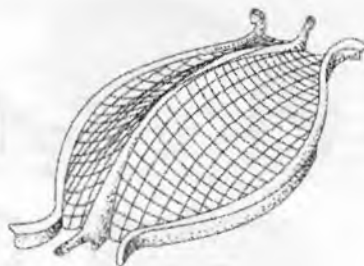


ВАРИАНТЫ ОПОРНОГО КОНТУРА ВИСЯЧИХ ПОКРЫТИЙ

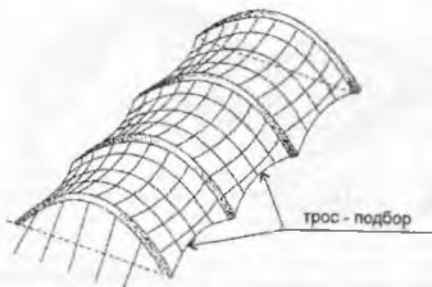
С одной опорной аркой



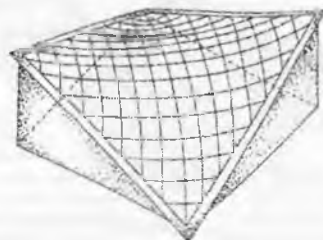
С тремя опорными арками



Многопролетная система с вертикальными арками



С прямолинейным опорным контуром



Лист 4.2

4.2.2. Двухпоясные покрытия

К двухпоясным (в некоторых случаях их можно отнести и к комбинированным) относятся висячие покрытия, у которых основные элементы (несущие и стабилизирующие) расположены в двух поверхностях и соединены друг с другом системой оттяжек, распорок и т.п. элементов.

Наиболее ярким представителем двухпоясной висячей системы является плоская или пространственная вантовая ферма. В такой ферме обязательно присутствуют несущий и стабилизирующий пояса и система решетки (рис. 4.5).

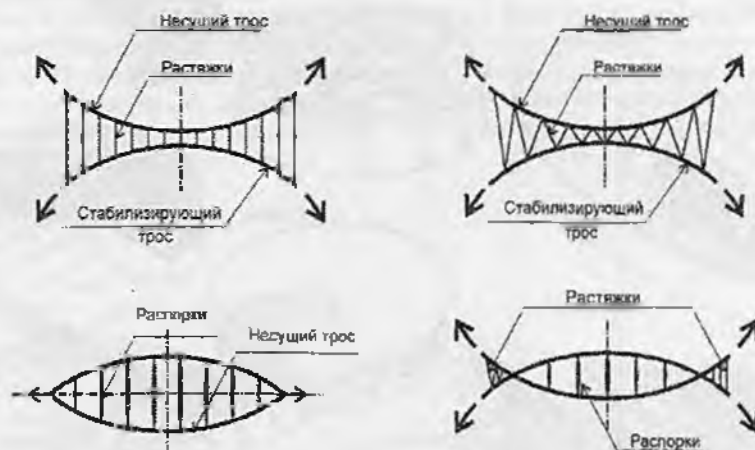


Рис. 4.5. Конструктивные схемы вантовых ферм

Комбинации различных типов вантовых ферм позволяют создавать выразительные по

форме и достаточно жесткие, предварительно напряженные системы покрытий (рис. 4.6) [51].

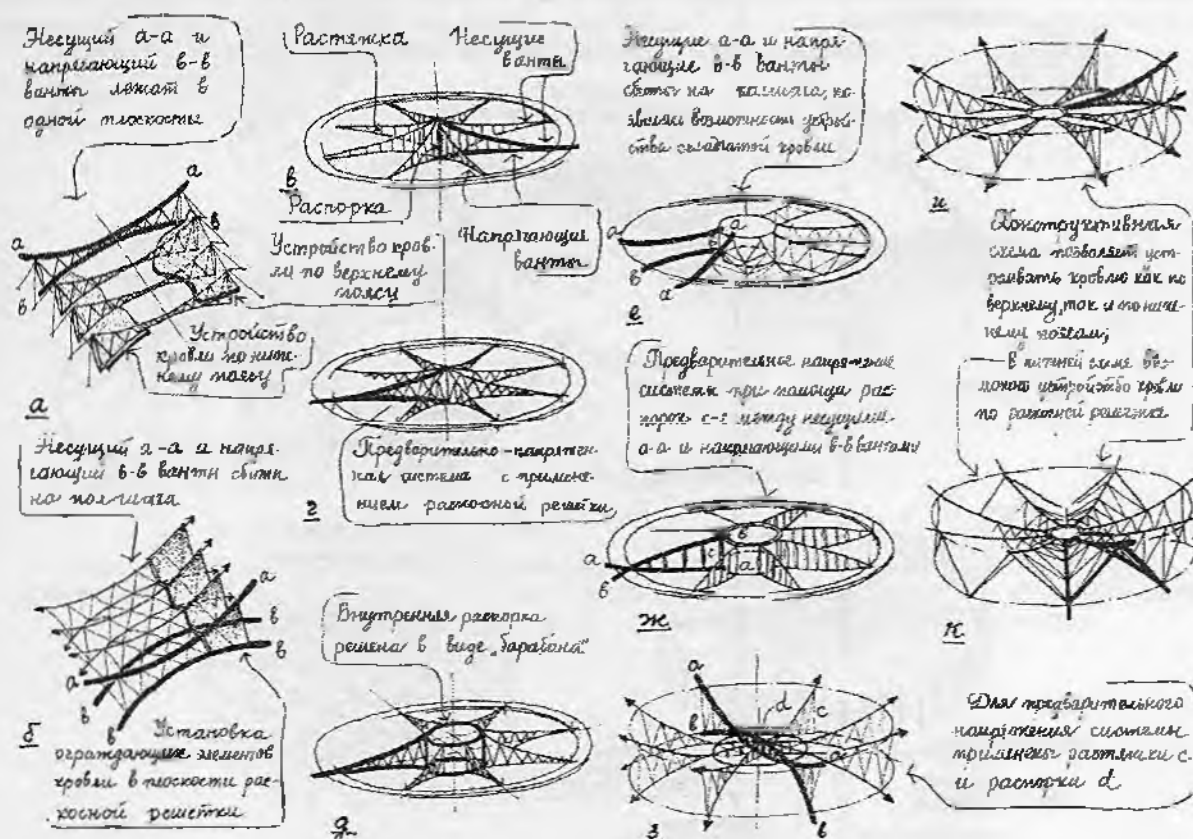


Рис. 4.6. Конструктивные решения и способы предварительного напряжения двухпоясных вантовых покрытий [46]

Двухъярусные висячие покрытия могут быть применены как для зданий круглой (овальной), так и полигональной формы плана. Наибо-

лее известные конструктивные формы двухъярусных висячих покрытий представлены на рис. 4.7 и 4.8 [25].

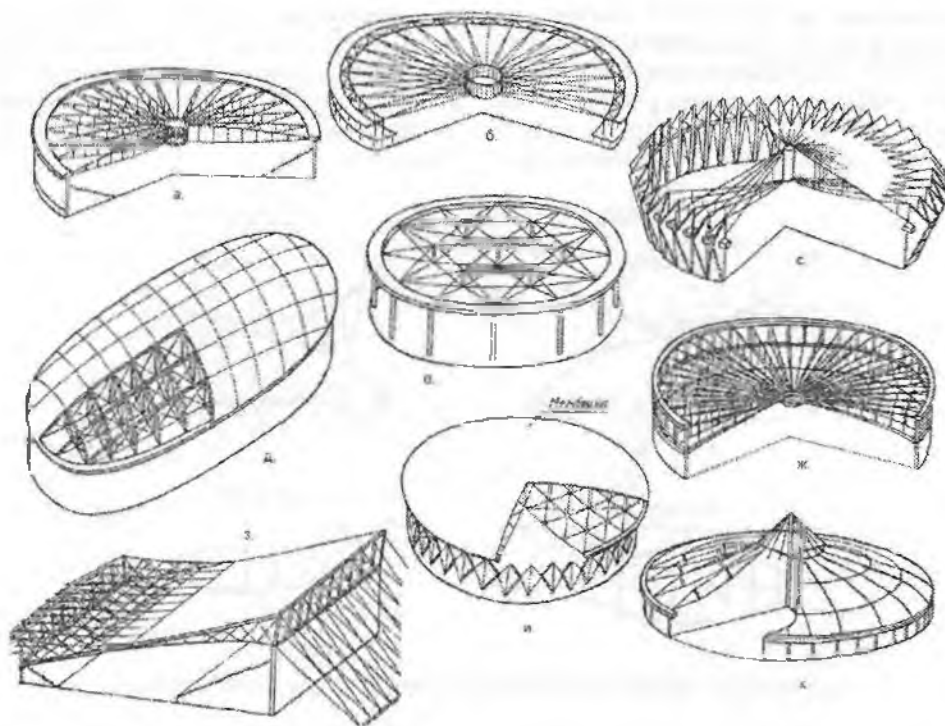
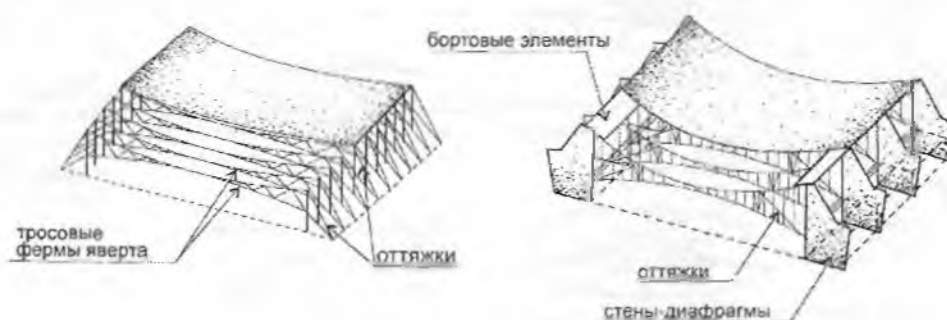


Рис. 4.7. Конструктивные формы двухъярусных висячих покрытий: а, б, с, ж, к – с радиальным расположением несущих элементов в виде отдельных тросов, вантовых и комбинированных ферм; д, е, и – с перекрестным расположением тросо-стоечных элементов; з – с параллельным расположением вантовых ферм и оттяжек

а. На прямоугольном плане



б. На круглом или овальном плане



Рис. 4.8. Двухъярусные покрытия на прямоугольном (а) и овальном (б) плане

4.3. Висячие оболочки

Висячие оболочки образуют большой класс однопоясных висячих систем. К этому типу покрытий относятся висячие железобетонные оболочки и мембраны (рис. 4.9). Характерной особенностью этого типа покрытий является способ обеспечения жесткости пролетной конструкции. У висячих оболочек это, в большинстве случаев, увеличение собственной массы покрытия за счет железобетонных плит настила или стяжки. Увеличение собственной массы покрытия, являющейся постоянной на-

грузкой, благоприятно влияет на работу покрытия при односторонних и сосредоточенных нагрузках – уменьшаются его кинематические и упругие деформации. Однако с экономической точки зрения этот способ не эффективен, поскольку увеличиваются сечения несущих элементов пролетной конструкции и растут затраты на опорные конструкции.

Поскольку каждый из этих видов покрытий отличается своими характерными особенностями, рассмотрим их отдельно.

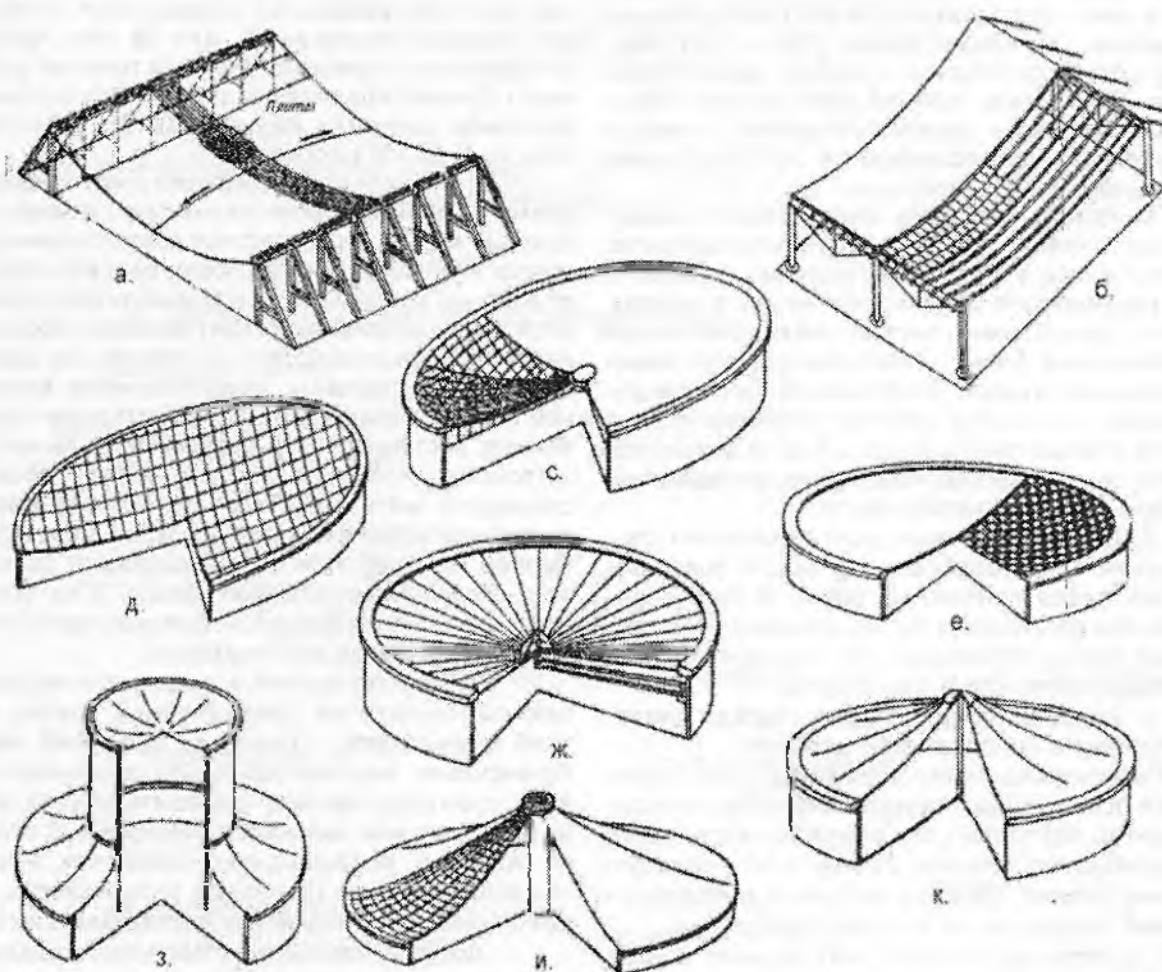


Рис. 4.9. Конструктивные формы висячих оболочек различной геометрии поверхности: а, б, с, д, и – висячие железобетонные оболочки на прямоугольном и овальном планах; е, ж, з, к – висячие мембранные оболочки

4.3.1. Висячие железобетонные оболочки

Висячими железобетонными оболочками называют пространственные покрытия, у которых пролетная часть представляет собой систему совместно работающих несущих (ванты), ограждающих (настил) и опорных конструкций. Такие покрытия представляют собой жесткие пространственные системы, способные воспринимать значительные эксплуатационные нагрузки, в том числе неравновесные.

Висячие железобетонные оболочки образуются после того, как плиты настила (кровли), уложенные на провисающие тросы или вантовую сеть, включаются в общую работу покрытия. Совместная работа плит и вант обеспечивается после замоноличивания стыков и предварительного напряжения системы одним из следующих способов:

1. Размещением на поверхности покрытия (или путем подвески) временного пригруза, равного массе утеплителя, кровли и снега. В качестве пригруза используют мешки с песком, бочки с водой или тяжелые железобетонные фундаментные блоки. Затем производят замоноличивание стыков. После набора бетоном достаточной прочности пригруз снимают. После резкого уменьшения нагрузки ванты стремятся вернуться в исходное положение (выпрямиться) и при этом обжимают плиты.

2. Натяжением вант домкратами или специальными приспособлениями после завершения всех видов монтажных работ. В этом варианте ванты размещают в специальных каналах, которые после натяжения вант заливаются (под давлением) цементным раствором.

3. Замоноличиванием швов между плитами бетоном на натягающем цементе.

После завершения всех работ ванты становятся основной арматурой оболочки, а опорный контур вантовой сети превращается в бортовой элемент оболочки. Добавим, что висячую оболочку можно создать и путем укладки по вантовой сети монолитного железобетона.

Стрелку провисания вант задают в пределах $1/10 - 1/25$ пролета. Меньшие значения стрелы провисания снижают кубатуру здания, но увеличивают усилия в вантах и опорном контуре.

Висячие железобетонные оболочки целесообразны как для прямоугольных, так и для круглых или близких к ним овальных в плане зданий. Для прямоугольных планов характерны висячие железобетонные оболочки с параллельно расположенными вантами, разомкнутым опорным контуром и оттяжками, передающими распор на анкерные фундаменты. Шаг вант - $1,5...2,0$ м. К торцам здания предусматривают уклон кровли, который может быть создан или за счет изменения длины вант (изменения стрелки провисания), или за счет кривизны бортовых элементов (при постоянной длине вант). Для восприятия распора железобетонные бортовые элементы имеют развитое сечение в горизонтальной плоскости.

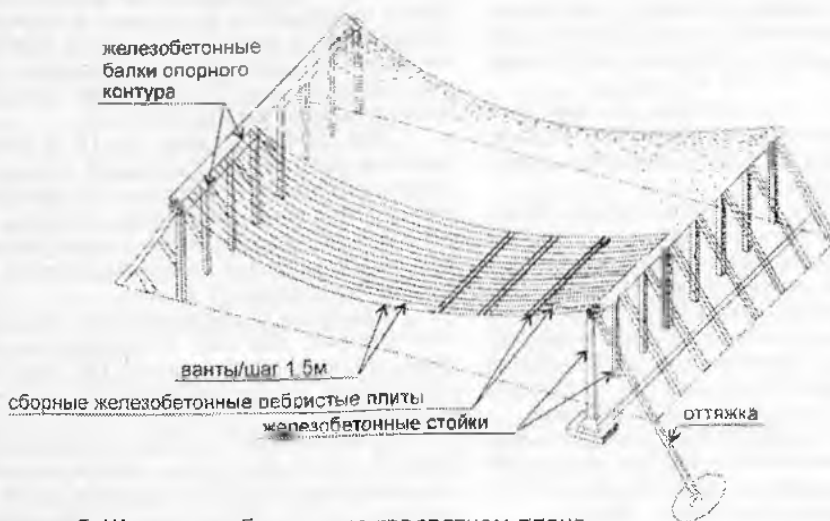
Круглая или овальная форма плана предопределяет радиальное расположение вант и замкнутый опорный контур. Такая система является самоуравновешенной, поскольку распор от вант воспринимает опорный контур, а вертикальные усилия передаются на поддерживающие контур опоры. Поскольку наружное кольцо работает на сжатие, его целесообразно проектировать железобетонным. Внутреннее кольцо, вводимое по конструктивным соображениям, растянуто, и его выполняют стальным. При устройстве внутренней опоры висячая оболочка становится шатровой. Такая оболочка позволяет перекрывать здания с прямоугольной и квадратной формой плана. В этом случае распор от основных вант воспринимает опорное кольцо, а на угловые опоры передается только небольшая часть усилий от дополнительных вант-подборов.

Кровлю покрытий в виде висячих оболочек выполняют по традиционной схеме: жесткий утеплитель, стяжка и рулонный ковер. Применение висячих оболочек позволяет снизить кубатуру здания, улучшить акустические характеристики зальных помещений. В отличие от жестких вставленных оболочек висячие оболочки никогда не теряют устойчивость, поскольку несущие элементы всегда растянуты.

Достоинства висячих оболочек определяют и область их применения. Это покрытия над спортивными сооружениями, рынками, кинотеатрами, гаражами, объектами промышленности с пролетами $30-160$ м.

ПОКРЫТИЯ В ВИДЕ ВИСЯЧИХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОБОЛОЧЕК

а. Цилиндрическая оболочка на прямоугольном плане



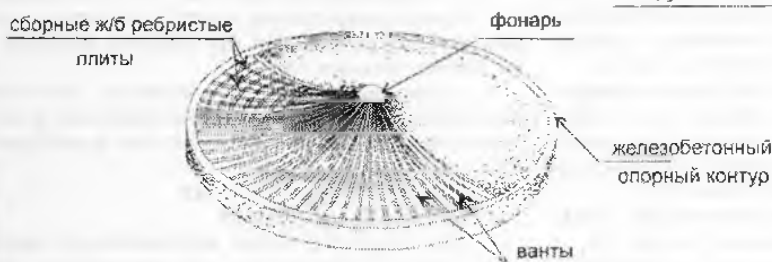
б. Шатровая оболочка на квадратном плане



в. Висячая оболочка на круглом плане



г. Висячая шатровая оболочка на круглом плане



Лист 4.3

4.3.2. Мембранные покрытия

К мембранным покрытиям относятся всякие системы, у которых пролетная конструкция представляет собой закрепленную на опорном контуре тонкую гибкую оболочку – мембрану, изгибающимися моментами в которой можно пренебречь по сравнению с осевыми растягивающими усилиями [21, 25, 32, 47 и др.].

Главное отличие мембран от вантовых покрытий – способность воспринимать не только растягивающие, но и сдвигающие усилия в своей поверхности.

В мембранных покрытиях можно выделить два важных конструктивных элемента – это пролетная конструкция и опорный контур. Конструктивные решения этих элементов взаимосвязаны, поскольку они работают совместно, однако у них можно найти индивидуальные особенности, которые позволяют провести анализ мембранных покрытий отдельно по пролетной части и отдельно по опорным конструкциям.

В зависимости от материала мембраны подразделяются на металлические (стальные или из алюминиевых сплавов) и оболочки из синтетических или тканевых материалов – тенты.

Стальной или алюминиевый лист, образующий оболочку, обычно совмещает в себе несущую и ограждающую функции. По условию прочности толщина листа не превышает 1 – 1,5 мм даже при перекрытии больших пролетов, но по соображениям коррозионной стойкости мембраны из листовой стали выполняют толщиной не менее 3 – 4 мм.

По конструктивным особенностям и характеру статической работы пролетной конструкции мембраны выполняются одноярусными, двухярусными и комбинированными, например, мембраны и тенты, подкрепленные вантами.

По форме поверхности мембраны, как и другие типы пространственных покрытий, бывают одинарной (нулевой), двоякой (положительной и отрицательной) гауссовой кривизны, а также составной и сложной формы поверхности (см. рис. на листе 4.4).

Способов стабилизации мембранных покрытий несколько (см. лист 4.4). Самый простой (но не самый эффективный) – увеличение собственного веса покрытия. Достаточно много примеров стабилизации формы за счет включения в работу мембраны дополнительных элементов в виде оттяжек, распорок, натяжных приспособлений, распределенных по контуру и т.д.

Опорные конструкции мембранных покрытий также имеют несколько специфических признаков, по которым их можно классифицировать. Это их форма и очертание, характер статической работы, сечение, способ опирания и т.д.

Для наглядности классификация мембранных покрытий представлена листе 4.5, а некоторые примеры конструктивных решений – на листе 4.6 [16, 40].

Мембраны на прямоугольных планах

Мембранные покрытия прямоугольных в плане зданий обычно имеют цилиндрическую форму поверхности. В последние годы для полигональных в плане зданий стали применяться так называемые «лучевые мембраны» – покрытия, образованные сопряжением четырех или более цилиндрических секторов.

При размерах зала 66х72 м мембрана, выполненная из нержавеющей стали, имеет толщину всего 2 мм. Нагрузка от мембраны на монолитный железобетонный опорный контур передается в углах покрытия через диагональные подкрепляющие элементы («лучи») из листовой стали толщиной 10 мм.

Мембрана стабилизирована пригрузом – конструкцией (массой) утеплителя и кровли: слой пенобетона толщиной 150 мм, стяжка, стеклоткань на кремнийорганических смолах и фольгоизол.

Стабилизацию мембран с цилиндрической формой поверхности или провисающих по кривой давления можно осуществить путем притягивания концов поперечных стабилизирующих ребер к оголовкам фахверковых колонн. В качестве таких ребер используют широкополочные сварные двутавры или фермы. Уложенные по поперечным ребрам сравнительно легкие продольные балки (или жесткие венты) из швеллера или тавра дополнительно стабилизируют мембрану и служат «постелью» при раскатке листовых рулонов. Распор от мембраны воспринимается стальными шпренгельными балками, расположенными по торцам зала, и распорками, идущими по продольным его сторонам.

Стабилизацию мембран из двух слоев лент, образующих поверхность гиперболического параболоида, можно осуществлять притягиванием стабилизирующих лент к опорному контуру (аналогично покрытию с вантовой сетью). В таких покрытиях утеплитель укладывают между несущими и стабилизирующими лентами. При алюминиевых лентах можно отказаться от кровельного ковра, укладывая стабилизирующие ленты внахлестку с заделкой стыков каучуковым герметиком.

При закреплении мембраны к трубобетонному контуру ниже его центра тяжести происходит перераспределение усилий в контуре, что делает целесообразным применение мембран и на прямоугольных планах.

Широкий диапазон пролетов, высокие акустические качества при минимальной кубатуре зала – характерные особенности мембранных покрытий.

Мембраны на круглых и овальных планах

При круглом плане провисающая мембрана имеет сферическую или коническую поверхность. Сферические мембраны значительно

но выгоднее конических, поскольку при тех же пролетах и нагрузках усилия в них, примерно, в два раза меньше (эффект двойной кривизны). Поэтому при больших пролетах предпочтение отдается сферическим мембранным оболочкам. К преимуществам конических оболочек можно отнести простой способ стабилизации – приложение пригруза расчетной величины в вершине конуса. Область рационального применения конических мембран ограничивается пролетами до 60 м.

Стрелу провисания мембран назначают в пределах $1/15 - 1/25$ пролета. Для восприятия распора контурные конструкции мембран проектируются такими же, как и в других типах висячих покрытий. Крепление мембраны к опорному контуру может быть точечным и линейным (см. рис. на листе 4.6). Вырезы эллиптической формы в околоконтурной зоне мембраны при ее точечном креплении устраняют влияние местных напряжений и обеспечивают свободу кольцевых деформаций.

Стабилизация мембран связана с предварительным растяжением оболочки. При круглом плане применяют стабилизацию покрытия введением системы вантовых ферм или жестких ребер. Ванты могут образовывать радиальные фермы, используемые на начальном этапе монтажа в качестве «постели» для раскатки рулонированных полос мембраны и напрягаемых на

завершающем этапе монтажа покрытия. Система параллельных вант позволяет упростить решение мембранной конструкции за счет придания поверхности покрытия формы гиперболического параболоида.

Стабилизация покрытий с помощью жестких ребер представляет собой систему совместно работающих с мембраной радиальных балок или ферм с высотой поперечного сечения $h=1/70-1/90L$ и легких кольцевых ребер, шаг которых около 6 м.

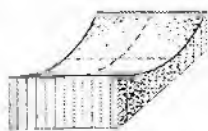
Мембранную оболочку можно получить путем переплетения лент из алюминиевых сплавов в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Переплетение лент предотвращает их расслаивание при неравномерной нагрузке и обеспечивает совместную работу. Для получения у мембраны требуемой стрелы провиса и придания ей слитной поверхности оболочку загружают до появления в материале лент пластических деформаций. Верхняя поверхность мембран защищается либо многослойным гидроизоляционным ковром (с эффективным утеплителем), например, пенополистиролцементом, либо полимерным составом (при напылении утеплителя снизу).

Основная область применения мембранных покрытий на круглом плане – спортивные сооружения.

ФОРМЫ ПОВЕРХНОСТИ МЕМБРАННЫХ ПОКРЫТИЙ

а. Отдельно стоящих

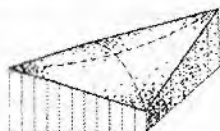
нулевой гауссовой кривизны



положительной гауссовой кривизны



отрицательной гауссовой кривизны

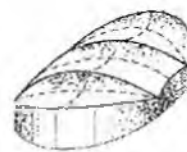
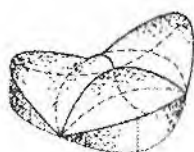


б. Составных

из элементов нулевой кривизны



из элементов отрицательной кривизны



СПОСОБЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ФОРМЫ МЕМБРАННЫХ ПОКРЫТИЙ

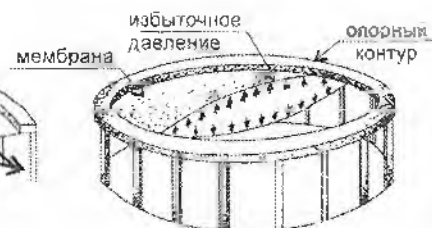
Увеличением собственного веса покрытия



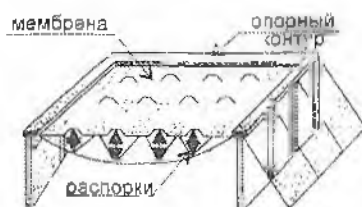
Вантами - оттяжками



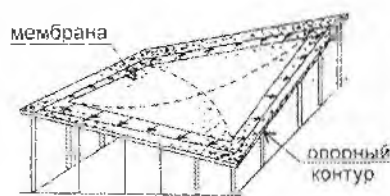
Избыточным давлением воздуха



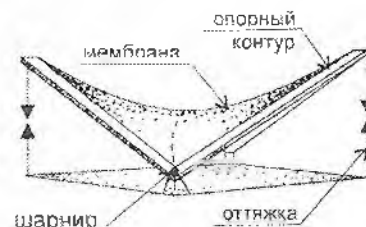
Стойками - распорками



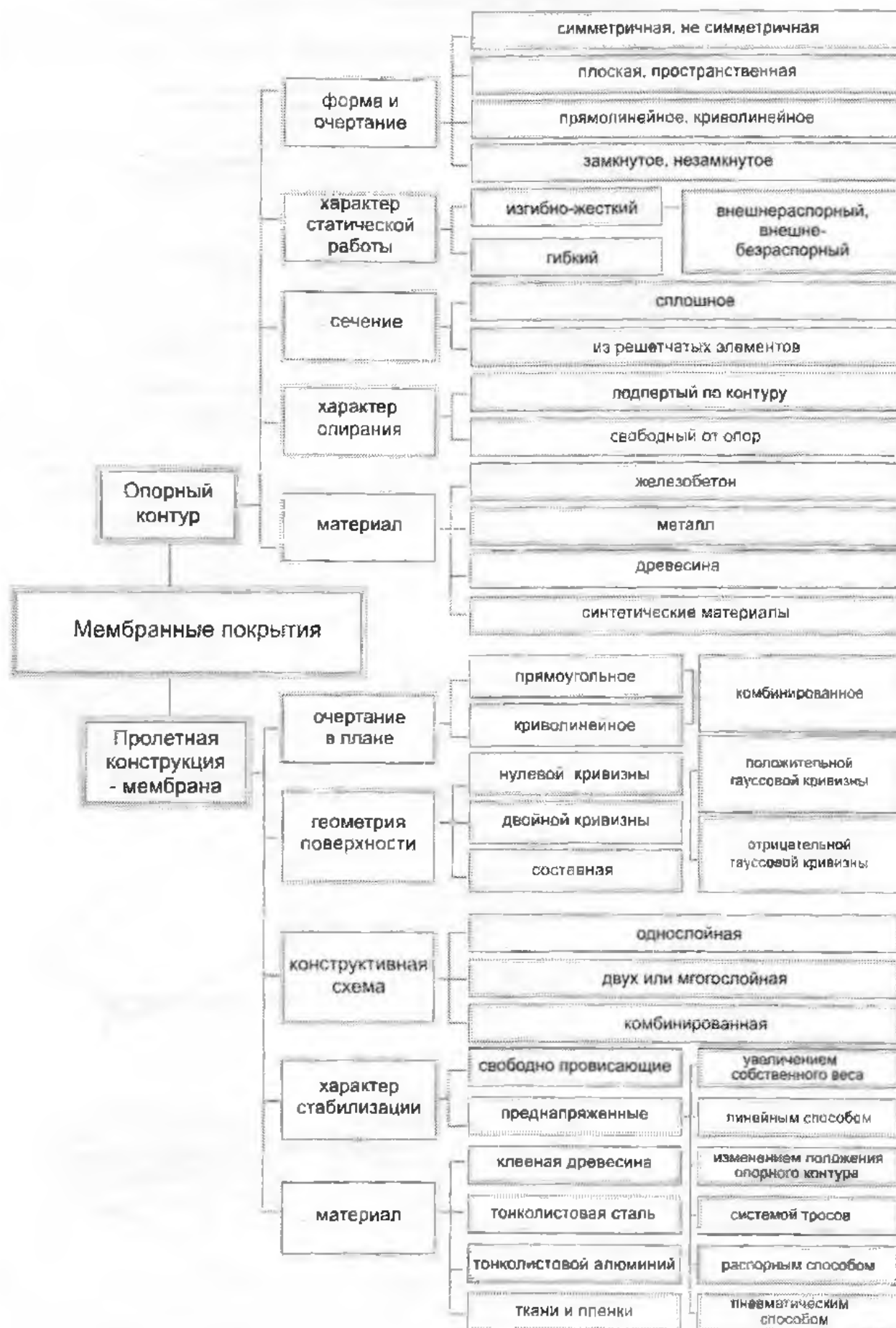
Натяжными устройствами, распределенными по контуру



Изменением положения опорного контура

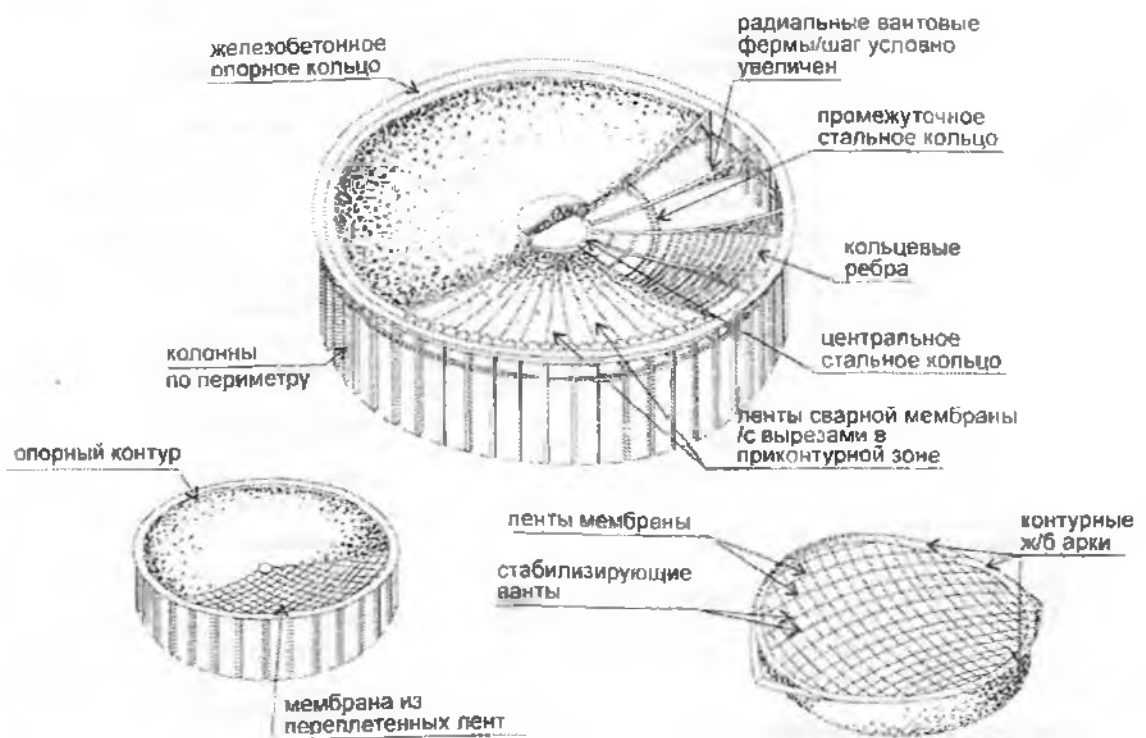


Лист 4.4

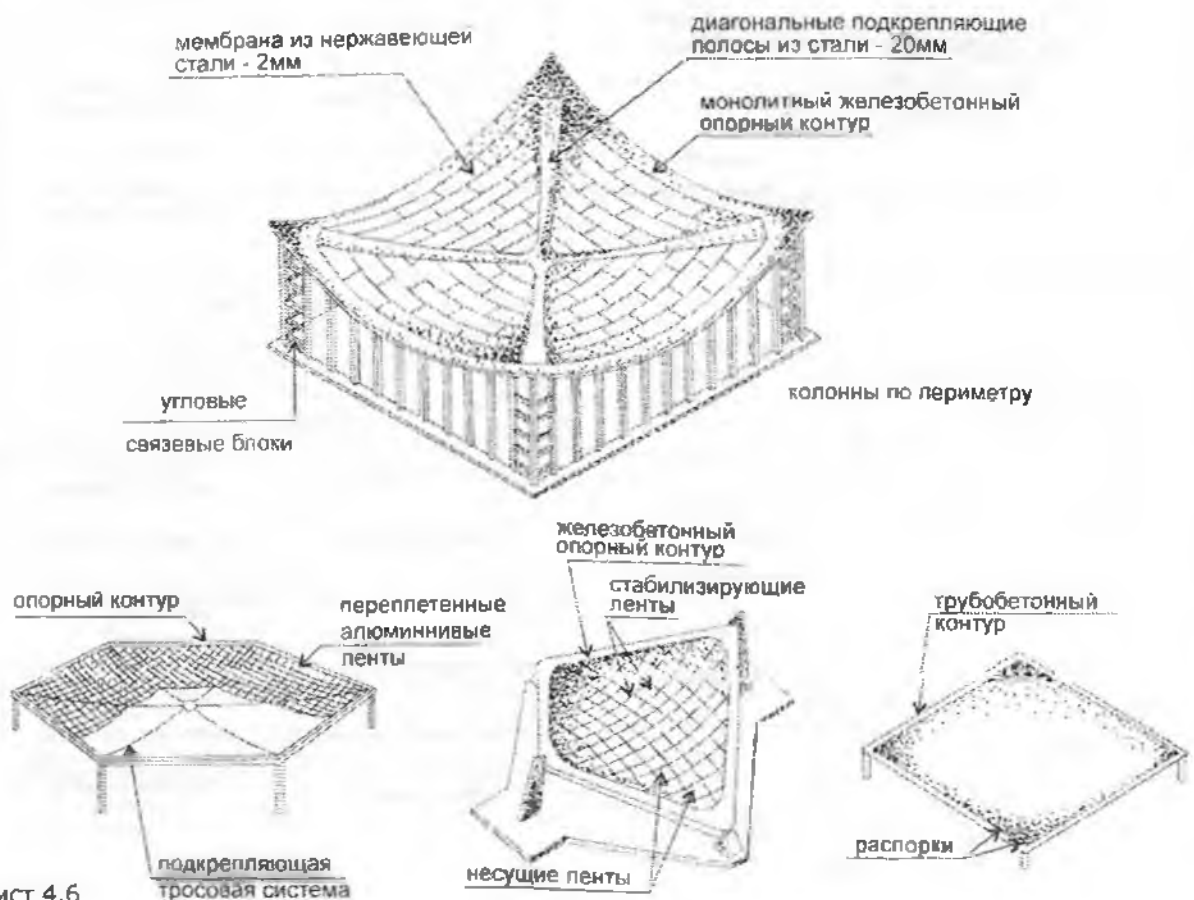


ВИСЯЧИЕ МЕМБРАННЫЕ ПОКРЫТИЯ

а. На круглом и овальном планах



б. На полигональном плане



Лист 4.6

4.4. Покрытия с жесткими нитями (висячими балками или фермами)

Напомним, что к жестким нитям относятся криволинейные (провисающие) конструкции, способные сопротивляться не только растяжению, но и, что очень важно, изгибу. Такими конструкциями являются висячие балки (обратные арки), фермы и комбинированные конструкции в виде ферм с жестким поясом и гибкой системой решетки.

По этому признаку и разделяются все покрытия с жесткими нитями на балочные, ферменные и комбинированные.

По своей сути, покрытия с жесткими нитями относятся либо к подкрепленным оболочкам, либо к комбинированным системам, поскольку совместную работу образующих покрытие нитей обеспечивает закрепленный на них настил (конструкции кровельного ограждения). Однако при изучении конструкций висячих покрытий принято выделять этот тип в отдельную группу.

Основным доводом для такого подхода служит возможность расчета на предварительных этапах отдельной нити без учета совместной работы всех элементов покрытия.

В отличие от висячих оболочек и вантовых сеток для основных несущих элементов таких покрытий используют не тросы, а стержневые элементы из профильной стали. По верхнему поясу висячих балок или ферм обычно укладывают стальной профилированный настил или мембрану. Висячие балки проектируют двутаврового поперечного сечения высотой в пределах $1/40 - 1/60$ пролета и целесообразны они при высоте до 900 мм. Жесткие нити собирают из отдельных элементов и в зависимости от формы плана перекрываемого здания располагают либо параллельно друг другу, либо радиально (рис. 4.10) [25].

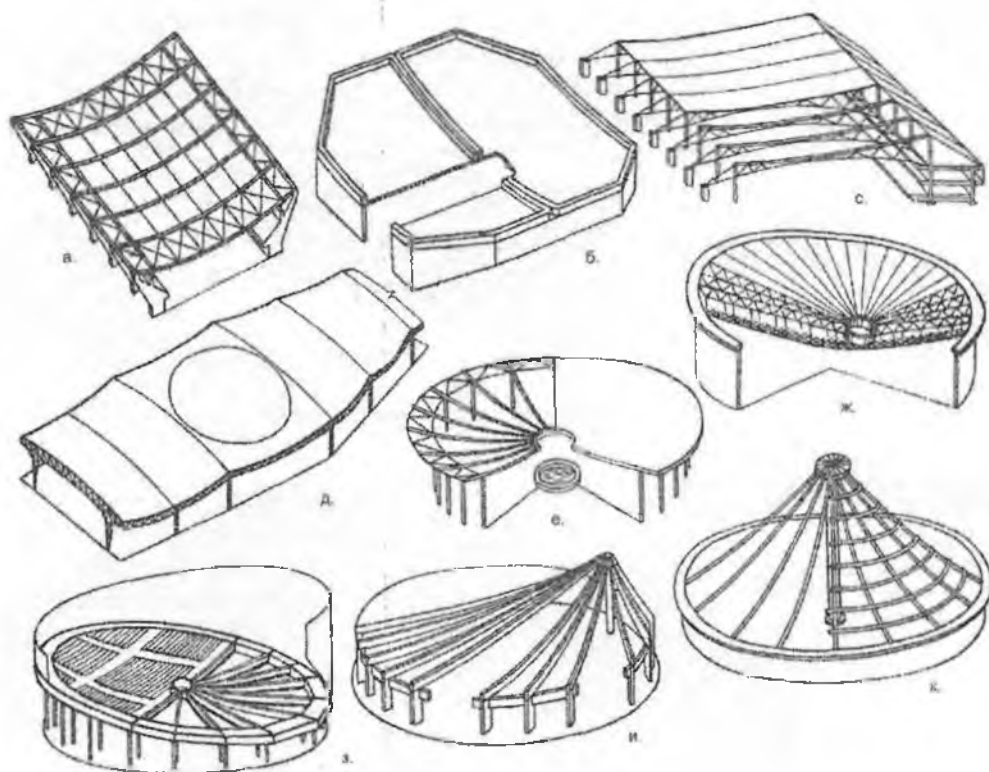
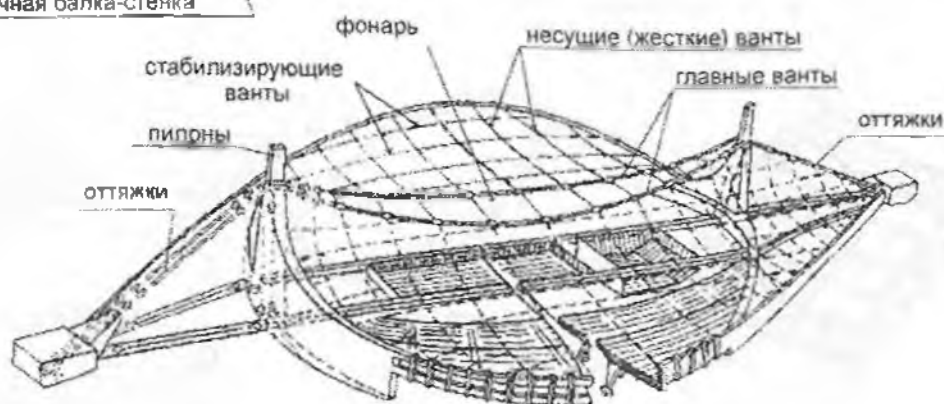
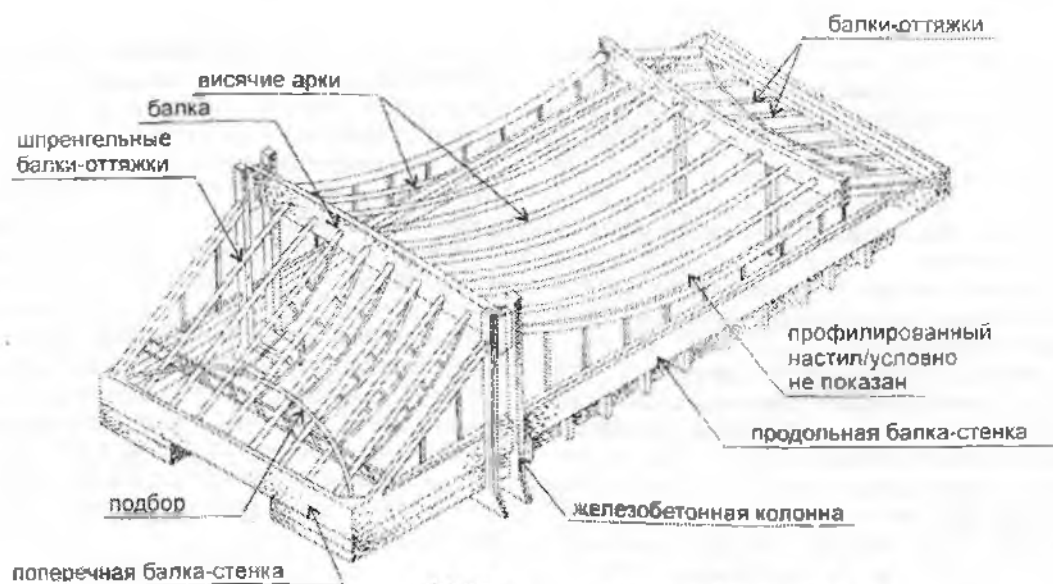


Рис. 4.10. Конструктивные формы висячих покрытий с жесткими нитями: а, б, с — нулевой кривизны с поперечным расположением жестких нитей в виде балок и комбинированных ферм; д — составной формы с продольным расположением висячих ферм (отрицательной кривизны); е, ж, з, и, к — положительной и отрицательной кривизны с радиальным и радиально-кольцевым (к) расположением жестких нитей

ВИСЯЧИЕ ПОКРЫТИЯ С ЖЕСТКИМИ НИТЯМИ

а. Покрытия с висячими арками (балками)



б. Покрытие с висячими фермами

висячие фермы параболического очертания с шагом 4,5м

ограждающая часть - профилированный настил /условно не показан

колонны условно не показаны

опорный контур - наклонные жб арки

Решение ограждающей части покрытия

оцинкованный профилированный настил

Лист 4.7

Элементы, из которых собираются жесткие нити, могут быть прямолинейными или с заранее приданной им на заводе кривизной. Соединение отправочных марок либо шарнирное, либо жесткое (на сварке). При закреплении на контуре из таких элементов можно образовать как свободно провисающую нить, так и более сложный профиль в виде ломаной кривой. Контур, воспринимающий распор от жестких нитей,

проектируют в виде горизонтальных балок или ферм, наклонных арок, плоских или изогнутых железобетонных колец.

К достоинствам покрытий с жесткими нитями относятся возможность применения более дешевых строительных сталей, четкая статическая схема работы, простые способы изготовления и монтажа, а также широкие возможности формообразования.

4.5. Комбинированные висячие покрытия

К этому типу висячих покрытий могут быть отнесены несущие системы, у которых основными несущими элементами пролетной части являются не только гибкие нити и мембраны, но и другие типы несущих конструкций, например, балки, арки или фермы (рис. 4.11) [25].

Чаще всего такие конструкции выполняют роль стабилизирующих элементов, но поскольку они сами воспринимают нагрузку и перераспределяют ее между другими элементами покрытия, их также можно отнести к основным.

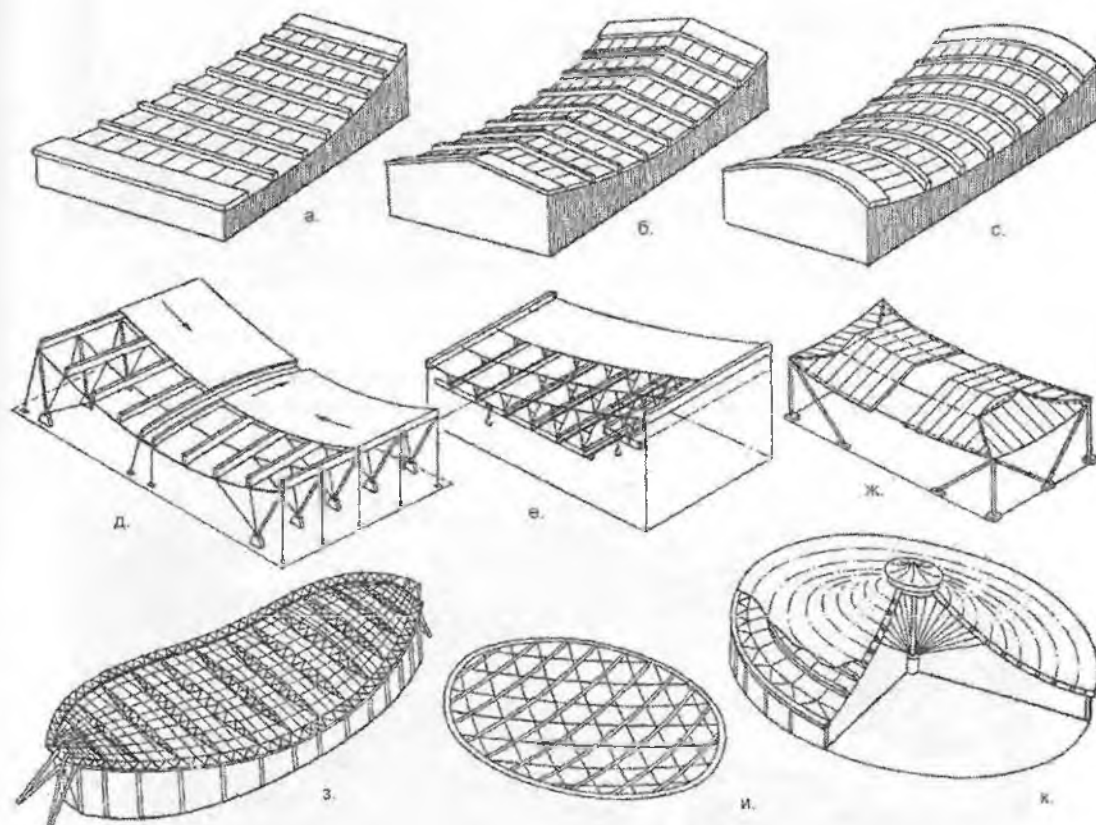


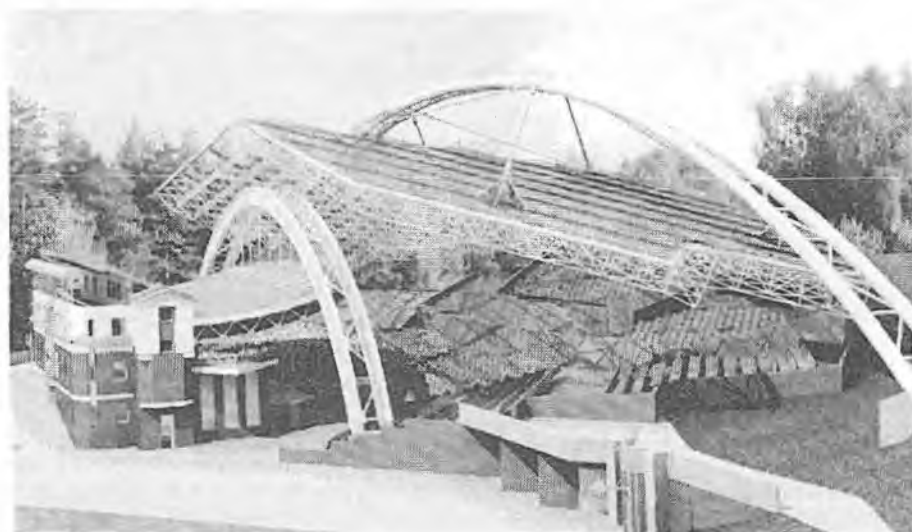
Рис. 4.11. Конструктивные формы комбинированных висячих покрытий:
а, б, в, г – с балками различной конфигурации (тросо-балочные покрытия нулевой и отрицательной кривизны); е, ж, з – покрытия с жесткими поперечными элементами в виде панелей (ж) и ферм-распорок (е, з); и – сетчатое тросо-балочное покрытие положительной кривизны; к – шатровое покрытие с жесткими кольцевыми балками-прогонами и вантами-оттяжками

ПРИМЕРЫ ОСУЩЕСТВЛЕННЫХ ПОДВЕСНЫХ ВИСЯЧИХ ПОКРЫТИЙ

а. Покрытие над трибунами стадиона "Локомотив" (г. Москва)
Несущие конструкции козырька над трибунами ($l=33$ м) с помощью сложной вантовой системы подвешено к черырем железобетонным пилонам ($H=52$ м)



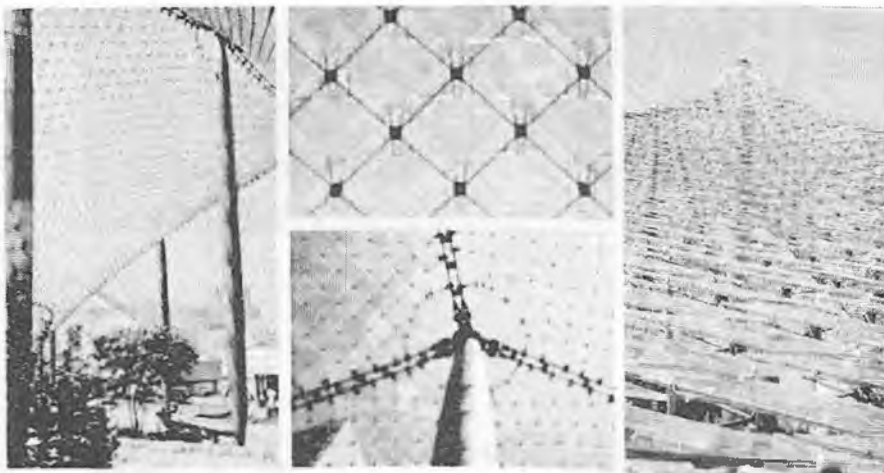
б. Покрытие над зрительным залом летнего театра (Белоруссия)
Стержневая структурная плита подвешена на тросах к несущей пологой арке



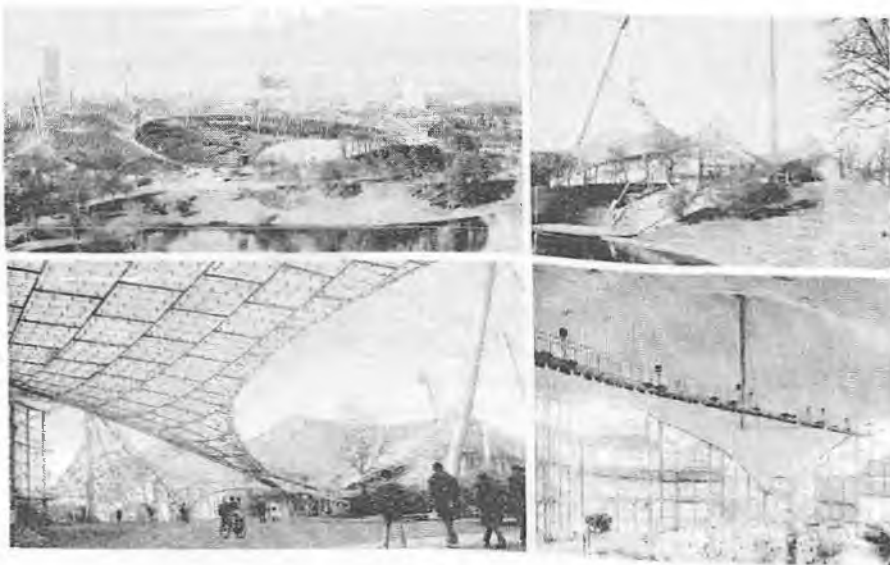
Лист 4.8

ПРИМЕРЫ ОСУЩЕСТВЛЕННЫХ ВИСЯЧИХ ПОКРЫТИЙ В ВИДЕ ТРОСОВЫХ СЕТОК

в. Светопрозрачное покрытие перехода между корпусами медицинской клиники
в Бад Нейштадт (Германия). Проект "Werner Sobek Ingenieure".
Тросовая сетка сложной формы поверхности и стеклянным ограждением



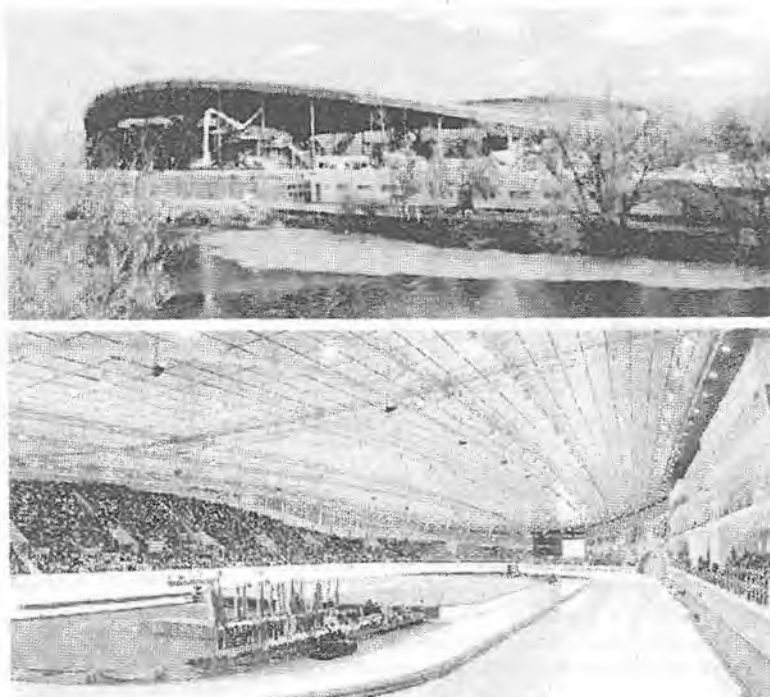
г. Многопролетное покрытие над сооружениями водного стадиона в г. Мюнхен (Германия).
Тросовая сетка сложной формы поверхности и светопрозрачным ограждением



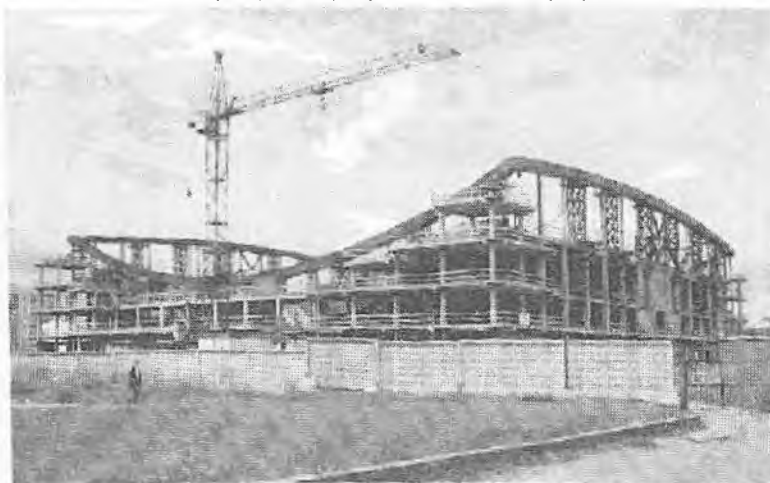
Лист 4.9

ПРИМЕРЫ ОСУЩЕСТВЛЕННЫХ ВИСЯЧИХ МЕМБРАННЫХ ПОКРЫТИЙ

д. Конькобежный стадион в г. Коломна (Московская область).
Мембранное покрытие седловидной формы главной арены стадиона.
Проект - ЗАО "Курортпроект"



е. Мембранное покрытие седловидной формы хоккейного стадиона
в г. Ангарск (Россия). Проект - ЗАО "Курортпроект"



5. МЯГКИЕ ОБОЛОЧКИ. КЛАССИФИКАЦИЯ И РАЗВИТИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ФОРМ

К мягким оболочкам относится особая группа пространственных конструкций, основной несущий элемент которых выполнен из синтетических тканей и пленок, обладающих высокой прочностью на растяжение, но не способных (из-за своей толщины) сопротивляться сжатию, изгибу и сдвигу. По этому признаку мягкие оболочки могут быть отнесены и к мембранам.

Как и в висячих покрытиях, форма мягких оболочек в значительной степени зависит от вида действующих нагрузок. При этом изменение формы является как следствием деформаций удлинения материала оболочки при растяжении, так и результатом кинематических перемещений. Поэтому способность мягких оболочек нести нагрузки, аналогичные нагрузкам жестких покрытий, зависит от способа обеспечения их устойчивой формы, т.е. при условии их предварительного напряжения (натяжения). Степень этого напря-

жения должна быть такой, чтобы в любой точке оболочки сумма усилий от внешних нагрузок и усилий предварительного напряжения была всегда положительной и, в то же время, не превосходила расчетного сопротивления материала оболочки растяжению. Другими словами – в любой точке оболочки ни при каких условиях не должны появиться усилия сжатия.

В современной практике строительства существует два способа предварительного напряжения мягких оболочек: аэростатический (пневматический) и механический. По этому признаку мягкие оболочки разделяются на пневматические, тентовые и комбинированные (рис. 5.1). Соответственно этому и конструкции, использующие в качестве основного несущего элемента *мягкие оболочки*, подразделяются на *тентовые, пневматические и комбинированные* [33, 34, 35, 45].

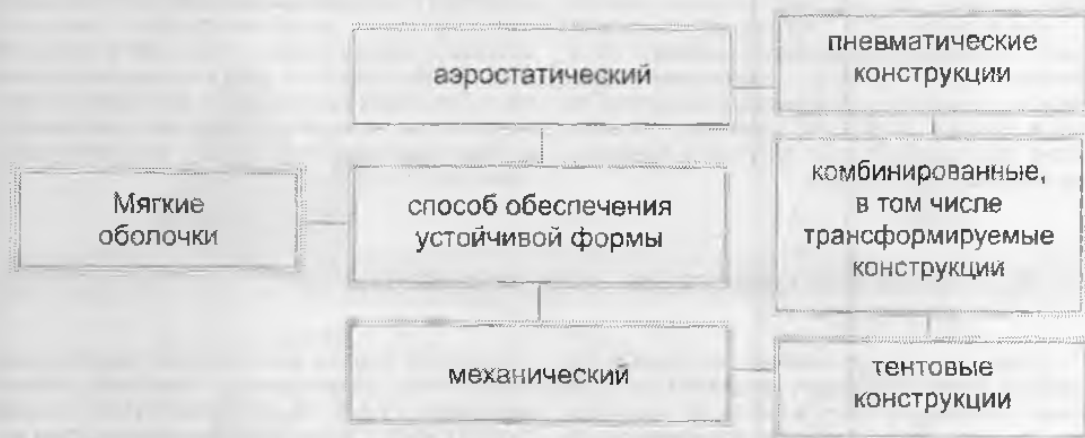


Рис. 5.1. Классификация мягких оболочек

К *пневматическим* относятся конструкции, проектная форма и сопротивление внешним нагрузкам которых зависят от разницы давлений воздуха между внутренним объемом, ограниченным мягкой оболочкой, и атмосферным. Простыми примерами таких конструкций являются воздушный шарик и корабельный парус. Если эксплуатируемый объем (внутреннее пространство сооружения) находится под избыточным давлением воздуха, то конструкция относится к *воздухоопорному типу*. Если же в эксплуатируемом объеме давление воздуха остается атмосферным, а избыточное давление присутствует только в замкнутом пространстве мягкой оболочки, то такие конструкции называют *воздухонесомыми* [20, 34, 35].

Существует и третий тип пневматических конструкций – это так называемые пневмолинзы (или подушки). Их можно отнести и к воздухоносным конструкциям, и к висячим, поскольку чаще всего их используют как элементы покрытий.

К *тентовым* относятся конструкции, состоящие из гибкой, предварительно напряженной мягкой оболочки, закрепленной на гибком или жестком опорном контуре. При этом следует помнить, что натяжение тентовой оболочки осуществляется с помощью различных механических приспособлений.

Конструкции типа мягких оболочек широко распространены в растительном и животном мире как один из основных конструктивных принципов природы.

Подробнее о конструктивных формах мягких оболочек и присущих им особенностях будет сказано в следующих разделах.

Материалы для мягких оболочек

Самыми распространенными материалами мягких оболочек являются ткани с различными покрытиями (импрегнированные ткани) и армированные пленки (лист 5.1). Реже применяются однородные пленки и тонкие металлические листы.

Основные требования, предъявляемые к материалам мягких оболочек:

- прочность при растяжении;
- водо- и воздухопроницаемость (для пневматических оболочек);
- прочность при раздире (для тентовых оболочек);
- долговечность;
- стойкость против воздействия окружающей среды (солнечная радиация, химическая агрессия и т.д.) и механических повреждений (проколов, порезов, истирания) [35, 45].

Для некоторых типов мягких оболочек предъявляются специальные требования, например, огнестойкость, свето- и радиопрозрачность. Не стоит забывать и о таких (технологических) требованиях к материалам мягких оболочек, как окрашиваемость в разные цвета, удобство стыковки полотенщ (шитье, сварка, склеивание) и др.

Ткани с покрытием состоят из силовой основы – ткани из натурального, синтетического или минерального волокна – и полимерного покрытия. Чаще всего в качестве силовой основы мягких оболочек используют ткани из синтетических волокон: полиамидного (капрон, нейлон и др.) или полиэфирного (лавсан, дакрон и др.); реже – полиакрилонитрильного (нитрон), поливинилспиртового (винол), полипропиленового (кевлар). Для особо долговечных сооружений (сроком службы 25...30 лет) используют стойкие против ультрафиолетового излучения минеральные волокна (стеклянные).

Полимерное покрытие, наносимое на силовую основу в виде пасты или привариваемой пленки, придает ткани водо- и воздухопроницаемость, защищает волокна от излучений и механических повреждений. В качестве покрытия чаще всего используют пластифицированный поливинилхлорид (ПВХ), которому подбором компонентов придают необходимые свойства. В зарубежной практике для покрытий уникальных большепролетных сооружений в качестве силовой тканевой основы используют политетрафторэтилен (тефлон) и другие волокна [55, 56, 55].

В зависимости от физико-механических свойств материалов мягкие оболочки подразделяются на два типа: изотропные, у которых свойства одинаковы по всем направлениям (тонколистовая сталь, фольга, пленки из неориентированных волокон и др.) и анизотропные, у которых свойства неодинаковы в разных направлениях (ткани, армированные пленки и т.п.).

Об особенностях мягких оболочек разного типа, их характеристиках и областях применения будет рассказано в следующих разделах. Но здесь хотелось бы сказать о человеке, точнее инженере и архитекторе, внесшем очень большой вклад в развитие легких конструкций – тентовых, вантовых, пневматических. Речь идет о немецком специалисте Фрае Отто, много лет возглавлявшем Институт легких конструкций в Штутгарте (Германия). Многие поколения студентов и дипломированных специалистов учились по его учебникам и проектам [32–34].

5.1. Пневматические конструкции

Если примеры использования воздуха для придания формы отдельным предметам известны давно, то в области строительства, по-видимому, первым, кто выдвинул идею применения надувных сферических оболочек для большепролетных сооружений, был английский инженер Ф.В. Ланчестер. В его патенте 1917 г. присутствуют все конструктивные элементы пневматических сооружений [32, 35, 53].

Как вспомогательные строительные средства пневматические конструкции стали использоваться с середины 30-х годов прошлого века. Резиновые баллоны нашли применение в качестве опалубки, на которую наносился бетон для получения строительных элементов криволинейной формы. Надувные оболочки использовались и как приспособления для монтажа стержневых куполов.

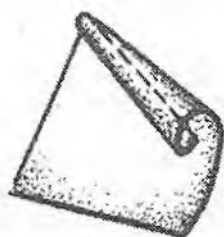
С середины 50-х годов эти конструкции стали выпускаться американской фирмой "BERDAIR", созданной авиационным инженером

Уолтером У. Бэрдом для покрытий выставочных павильонов, плавательных бассейнов, зернохранилищ и т.д. С тех пор практически во всех странах мира с развитой промышленностью химии полимеров эти конструкции получили большое распространение.

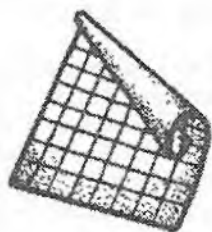
Напомним, что пневматические конструкции относятся к большой группе растянуто-напряженных конструкций (как мембраны и вантовые сетки). Избыточное давление вызывает в пневматических конструкциях (в их оболочках) предварительное напряжение, что позволяет им в дальнейшем сопротивляться внешним нагрузкам.

По характеру использования эксплуатируемого пространства (есть избыточное давление или нет), а также некоторым конструктивным особенностям, все пневматические конструкции подразделяются на воздухоопорные, воздухо-несомые (пневмокаркасные), висячие и комбинированные (лист 5.2) [45].

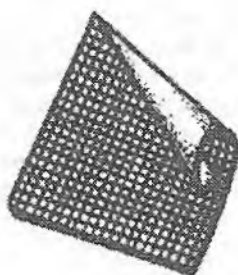
МАТЕРИАЛЫ МЯГКИХ ОБОЛОЧЕК И ОБЛАСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ



а) однородные плёнки



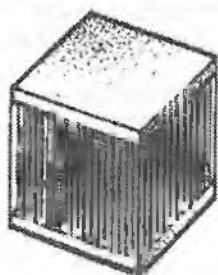
б) армированные плёнки



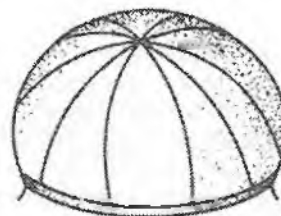
в) ткани с покрытием



г) цельнотканые
воздухопроницаемые
рукава



д) аэроматы



воздухоопорные
конструкции



тенты



стержни низкого
давления



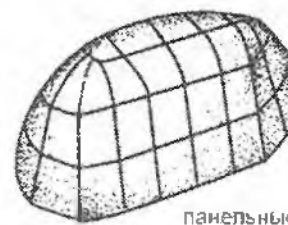
пневмопанели



пневмоподушки



стержни высокого
давления



панельные
сооружения

5.1.1. Пневматические конструкции воздухоопорного типа

Пневматические конструкции воздухоопорного типа – это строительные системы (здания, сооружения), в которых избыточное давление воздуха создается в замкнутом объеме эксплуатируемого пространства с помощью вентиляторов или воздуходувок низкого давления. Разница между давлением в этом объеме и атмосферным составляет тысячные доли атмосферы, что практически не ощущается людьми и не препятствует нормальной эксплуатации здания [20, 34, 35].

Основными конструктивными элементами здания воздухоопорного типа являются гибкая оболочка, фундамент или легкое опорное устройство и воздухоподающая установка. Для обеспечения нормальной эксплуатации в таких зданиях предусматривают специальные входные устройства (шлюзы), отопительные установок и систему контроля подачи воздуха.

Принципиальное конструктивное решение здания воздухоопорного типа показано на листе 5.3.

Простейшей формой сооружения воздухоопорного типа является сферический купол. Благодаря его форме напряжения во всех точках гибкой оболочки от внутреннего давления воздуха одинаковы.

В практике проектирования и строительства получили распространение воздухо-

опорные здания и других форм поверхности, например цилиндрические со сферическими торцами.

Формы и размеры таких зданий зависят от формы перекрываемого плана и прочностных характеристик материала оболочки. Для создания новых форм, а также увеличения габаритов перекрываемых пространств используют системы разгружающих канатов или сеток, а также внутренние оттяжки (лист 5.4).

Для крепления воздухоопорного здания к основанию используют специальные анкера (винтовые сваи) или контурную трубу из мягкого материала, заполненную водой или песком. Эта труба располагается на заранее спланированной площадке и закрепляется к основанию специальными винтовыми анкерами. Для более капитальных зданий устраивается ленточный фундамент. Вариантов крепления гибкой оболочки к фундаменту достаточно много. Некоторые из них показаны на листе 5.3.

По форме поверхности воздухоопорные оболочки могут быть простыми (как правило, это поверхности вращения), составными (состыкованными из участков поверхностей простых оболочек) и сложными, а по структурным особенностям – однослойными и двухслойными.

5.1.2. Пневматические конструкции воздуонесомого типа

К воздуонесомым или пневмокаркасным относятся конструкции (оболочки), в которых избыточное давление воздуха создается в замкнутых, герметичных полостях несущих элементов каркаса – балках, стойках, рамах и т.д. (лист 5.5).

Элементы каркасов таких сооружений могут быть как прямолинейными, так и криволинейными в виде арки или рамы.

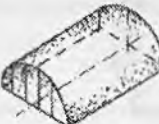
Разновидностью конструкций воздуонесомого типа являются пневмопанельные здания, у которых основным несущим элементом служат соединенные между собой балки или арки (лист 5.5). Установленные вплотную и соединенные между собой, такие элементы обеспечивают необходимую пространствен-

ную жесткость здания, позволяют совместить в одном конструктивном элементе несущие и ограждающие функции, обеспечивают высокие теплотехнические качества.

К воздуонесомым можно отнести и так называемые пневмолинзы или пневмоподушки. Отличительной особенностью именно этих конструкций является их функциональное назначение – чаще всего они используются в качестве несущей конструкции покрытия и по этому признаку их можно отнести и к висячим системам.

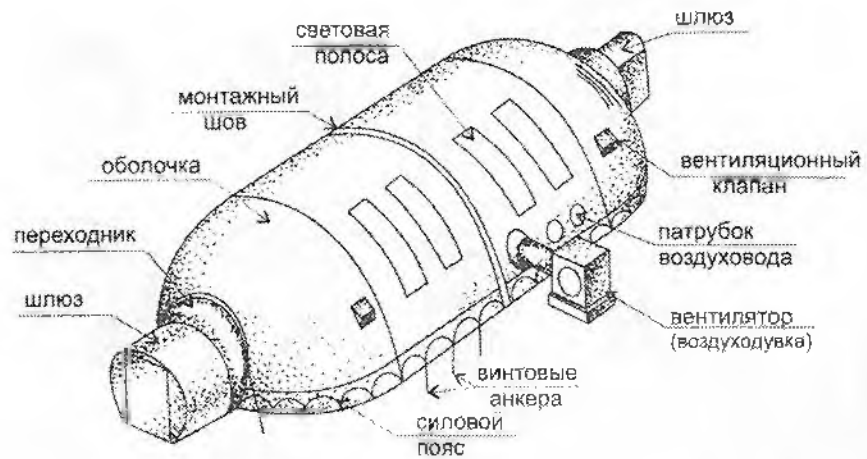
С целью увеличения несущей способности и создания выразительных архитектурных форм в таких покрытиях используются либо отдельные тросы, либо сетки.

КЛАССИФИКАЦИЯ И ФОРМЫ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

Воздухоопорные конструкции					Воздухонесомые конструкции			Висячие покрытия
Конструктивная схема / Геометрическая форма								
Оболочки			Оболочки, усиленные канатами или сетями		Стержни	Панели		Линзы (подушки)
Простая	Составная	Сложная	Одно-пролетные	Много-пролетные		Орто-тропные	Изо-тропные	
								
								
								
								

Лист 5.2

ОБОЛОЧКА ВОЗДУХООПОРНОГО ТИПА

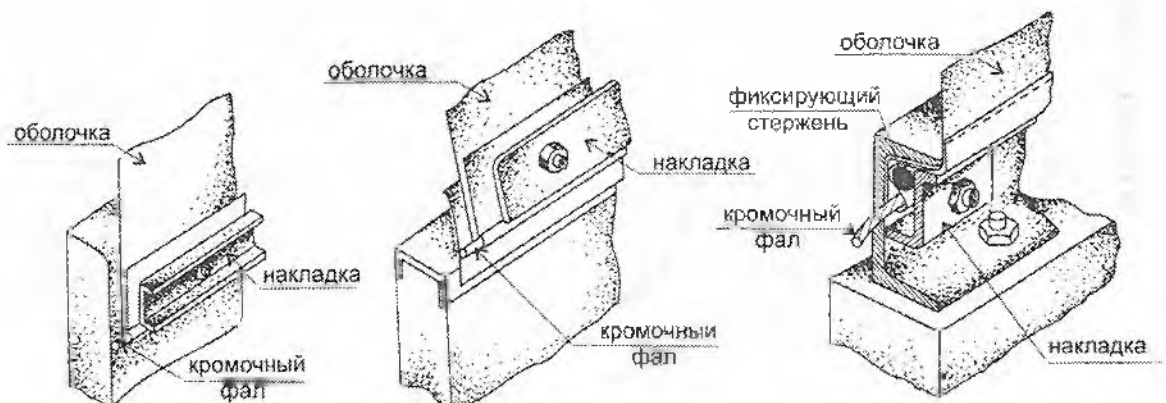


КРЕПЛЕНИЕ ОПОРНОГО КОНТУРА ОБОЛОЧКИ:

А. К штопорам (винтовым сваям)



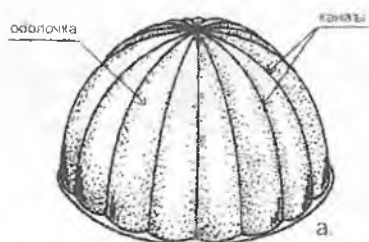
Б. К ленточному фундаменту



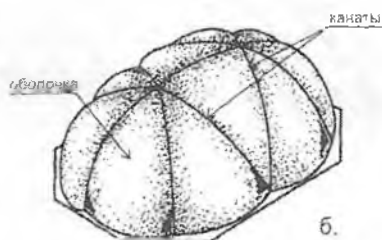
Лист 5.3

ВОЗДУХООПОРНЫЕ ОБОЛОЧКИ, УСИЛЕННЫЕ КАНАТАМИ ИЛИ СЕТКАМИ

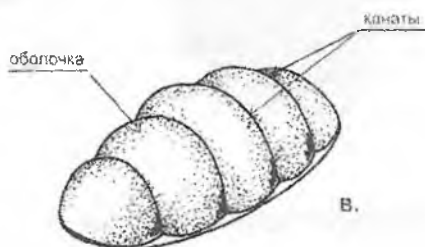
На круглом плане



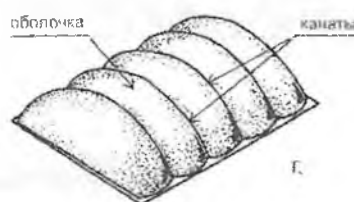
На многоугольном плане



На эллиптическом плане



На прямоугольном плане



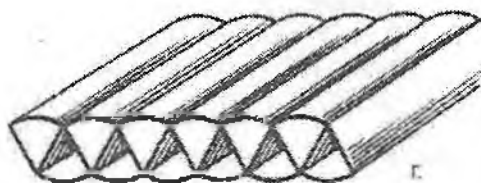
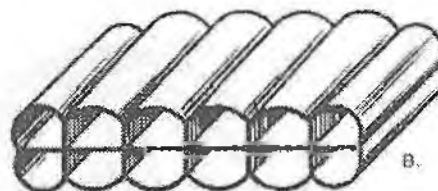
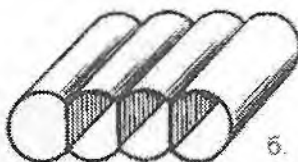
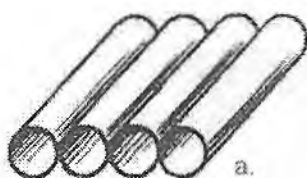
ВОЗДУХООПОРНЫЕ ОБОЛОЧКИ С ВНУТРЕННИМИ ОТТЯЖКАМИ



Лист 5.4

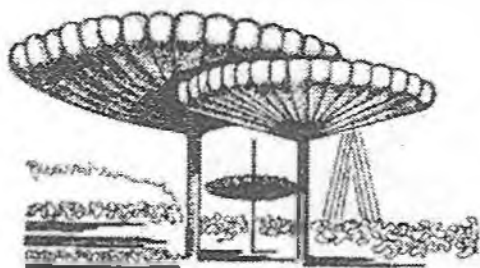
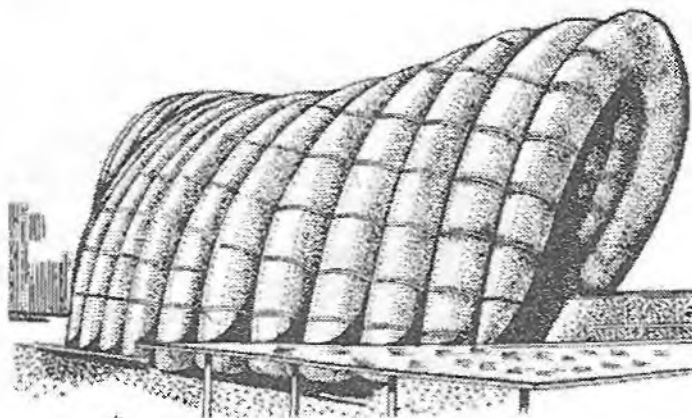
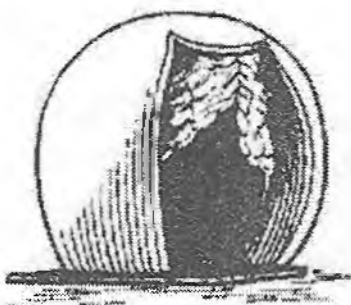
ПНЕВМОПАНЕЛИ

Конструктивно ортотропные (а, б, в, г)

защитный и
герметизирующий слойИзотропная
типа "аэромат" (д)

ПНЕВМОКАРКАСНЫЕ (ПНЕВМОПАНЕЛЬНЫЕ) ЗДАНИЯ

Типа "гриб"

Арочное с цилиндрической
формой поверхностиАрочное с поверхностью
сложной формыКуольное с поверхностью
вращения

Лист 5.5

5.2. Тентовые конструкции (покрытия)

Тентовые покрытия – это конструкции, устойчивость формы которых обеспечивается выбором соответствующей кривизны и предварительным напряжением [33, 36, 45, 51].

Обязательными конструктивными элементами тентовых покрытий являются гибкая оболочка, жесткий (плоский или пространственный) или гибкий опорный контур и система

предварительного напряжения. Натяжение оболочки осуществляется механическим способом: оттягиванием углов, подъемом опорных стоек, притягиванием отдельных точек тента к земле или опорному контуру, оттягиванием их кверху, искривлением жесткого опорного контура и др. Некоторые из перечисленных выше способов можно увидеть на листе 4.9.

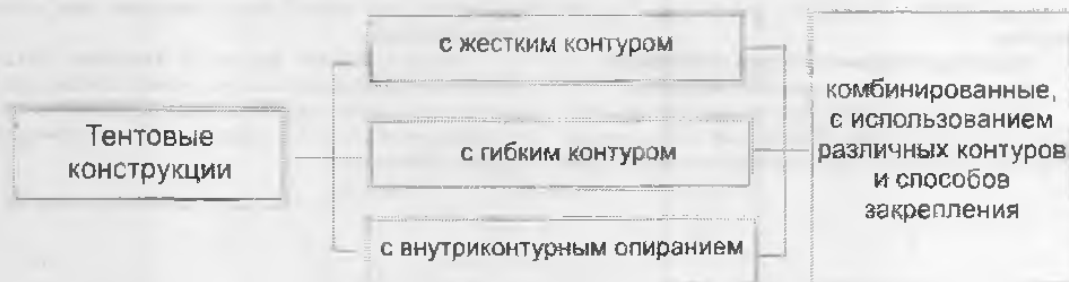


Рис. 5.3. Классификация тентовых конструкций

В результате предварительного напряжения в оболочке возникает начальное натяжение, которое должно быть равномерным по всей поверхности тента. При этом форма поверхности должна обеспечивать ограничение перемещений точек оболочки при действии на нее знакопеременной нагрузки.

Такая форма присуща поверхностям отрицательной гауссовой кривизны, у которых радиусы главных кривизн имеют разные знаки (см. "Краткие сведения...").

Образование устойчивой формы оболочки осуществляется четырьмя способами [45].

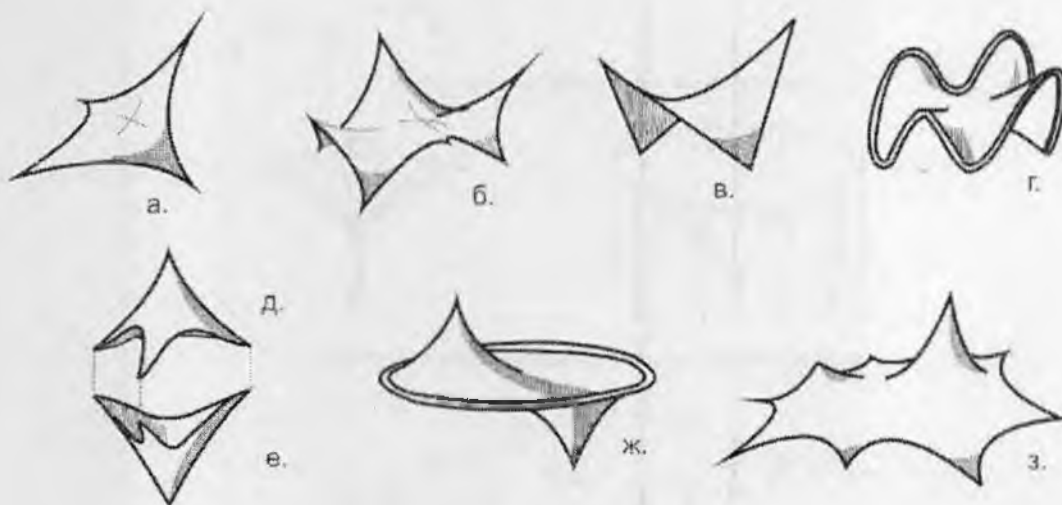


Рис. 5.4. Образование устойчивой формы тентовой оболочки

Первый способ заключается в том, что оболочка крепится к контуру в четырех точках, расположенных в разных уровнях (рис. 5.4, а). Контур оболочки гибкий и пространственный. Второй способ состоит в закреплении оболочки на криволинейном или полигональном в плане изгибно-жестком неплоском опорном контуре (рис. 5.4, в, г). Третий и четвертый способы заключаются в том, что устойчивая форма оболочки обеспечивается выведением ее фиксированных внутриконтурных точек из условной плоскости наружу (вверх) или внутрь (вниз) (рис. 5.4, д-з). В конкретных случаях возможны различные комбинации описанных выше способов.

Конструктивные формы и области применения тентовых покрытий

Оболочки с гибким контуром обычно применяют для покрытий зданий, не образующих замкнутого объема. Такие покрытия защищают

от осадков и инсоляции, но требуют особого внимания к ветровым нагрузкам (закреплению к основанию).

Оболочки с жестким контуром могут использоваться в качестве покрытий зданий и сооружений самого широкого назначения различной конфигурации в плане. В таких покрытиях опорный контур оболочки выполняется чаще всего из отдельных арок.

Оболочки с внутриконтурными опорами – наиболее распространенный тип тентового покрытия. Контур таких покрытий может быть закреплён как в отдельных точках, так и по периметру, он может быть плоским или пространственным.

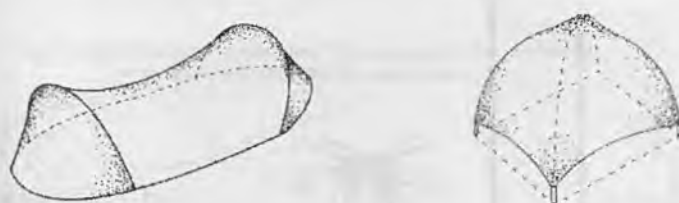
Разнообразные формы и высокую архитектурную выразительность имеют комбинированные тентовые покрытия, совмещающие в себе различные способы обеспечения устойчивой формы оболочки.

КОНСТРУКТИВНЫЕ ФОРМЫ ТЕНТОВЫХ ПОКРЫТИЙ

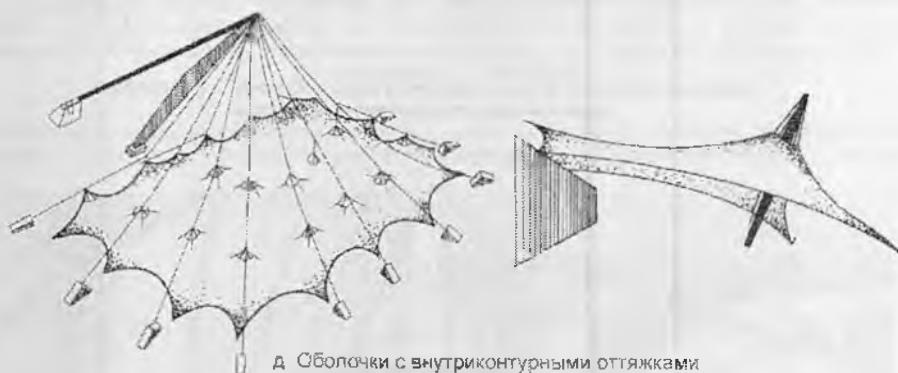
а. Оболочки с гибким опорным контуром



б. Оболочки с жестким опорным контуром



с. Оболочки с внутриконтурным опиранием



д. Оболочки с внутриконтурными оттяжками



е. Оболочки с комбинированным способом закрепления

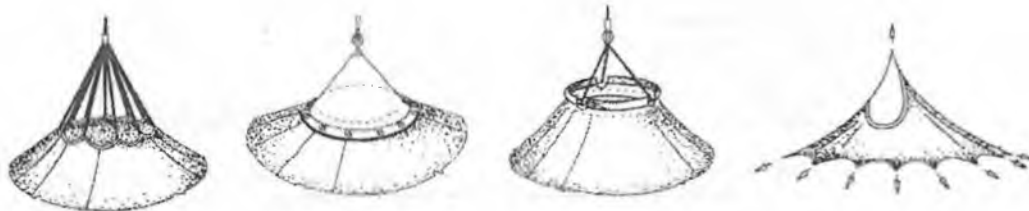


Лист 5.6

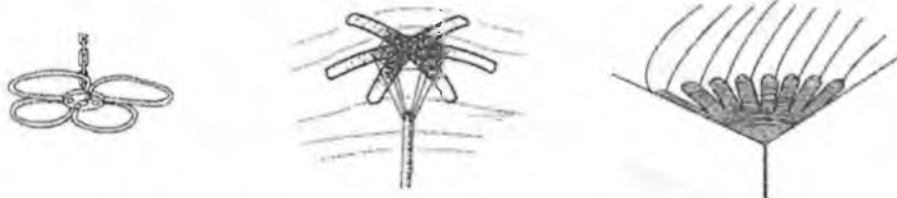
КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ УЗЛОВ ПРИСОЕДИНЕНИЯ ОБОЛОЧКИ К ОПОРНЫМ ЭЛЕМЕНТАМ

а. К точечным опорам

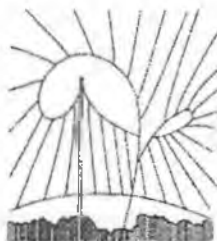
с заменой перенапряженных участков оболочки специальным конструктивным элементом



усилением оболочки в местах приложения сосредоточенных сил
специальным демпфирующим элементом



при помощи вшитого в кромки фигурного выреза оболочки троса-подбора,
закрепленного на поддерживающих опорах

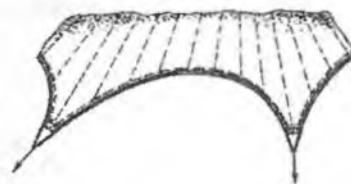
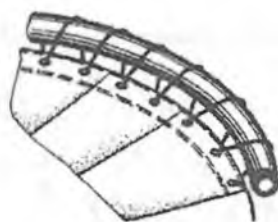
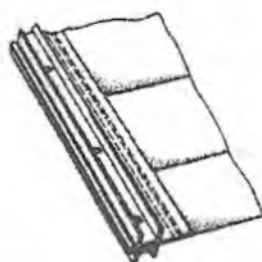


б. К линейному опорному контуру

жесткому прямолинейному

жесткому криволинейному

гибкому (тросу-подбору)



5.3. Комбинированные покрытия на основе мягких оболочек

Пневматически напряженные оболочки и тенты можно использовать в комбинации с другими конструктивными элементами в виде сжатых стоек, тросовых сетей, мембран, изгибно-жестких конструкций.

Некоторые типы комбинированных конструкций с использованием мягких оболочек показаны на рис. 5.5.

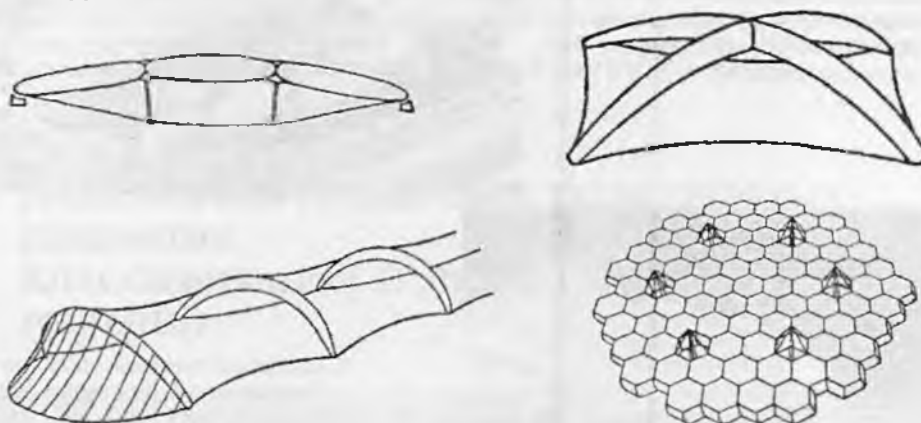


Рис. 5.5. Комбинированные покрытия: а – пневмопанель, подкрепленная шпренгелем; б – арка с подвешенным тентом; в – многопролетное здание с несущими арками, тентовой оболочкой и вантовыми оттяжками; г – плита из пневмоподушек, подвешенная к стойкам

В качестве примера осуществленного комбинированного покрытия приведем конструк-

цию трехслойной оболочки терминалов международного аэропорта Бангкока [52, 54, 62].



Рис. 5.6. Международный аэропорт в Бангкоке. Общий вид, интерьер и трехслойная оболочка покрытия терминалов.

ПРИМЕРЫ ОСУЩЕСТВЛЕННЫХ ПОКРЫТИЙ В ВИДЕ МЯГКИХ ОБОЛОЧЕК

а. Комплекс зданий,
перекрытых воздухоопорными
оболочками разной формы
поверхности (США)

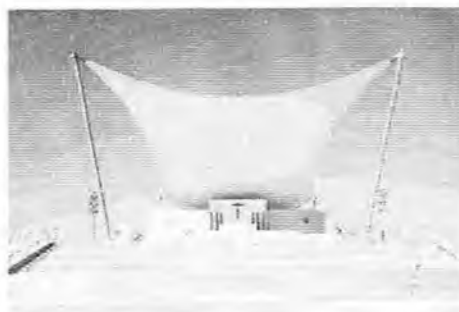


б. Составная тентовая оболочка
океанариума в Балтиморе (США)

в. Тентовая оболочка сложной
формы поверхности.
Павильон фирмы "BMW"
(г. Дортмунд, Германия)



г. Тентовая оболочка над алтарем папы Бенедикта XVI.
(г. Мюнхен, Германия)



Многопролетное покрытие терминалов выполнено в виде системы соприкасающихся оболочек-гипаров с контуром из пространственных стальных арок и прикрепленной к ним трехслойной оболочки (рис. 5.6). Пролет оболочек в поперечном направлении достигает 40 метров, высота 18 м. Средний слой каждой оболочки представляет собой тросовую сетку отрицательной кривизны, в ячейках которой закреплены тепло- и звукоизолирующие плиты.

Нижний слой, повторяющий поверхность среднего слоя, выполнен в виде тентовой оболочки, являющейся потолком перекрываемого

помещения. Эта оболочка расположена на некотором расстоянии от среднего слоя, что обеспечивает его свободные деформации.

Внешняя тентовая оболочка, воспринимающая нагрузки, а также солнечно-, грязе- и химические воздействия, выполнена из материала со специальным покрытием, обеспечивающим ее устойчивость к вышеперечисленным воздействиям. Для обеспечения формы при действии ветрового отсоса в материал оболочки интегрированы несколько стабилизирующих тросов.

Другие примеры комбинированных покрытий приведены в главе 7.

6. ТРАНСФОРМИРУЕМЫЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ПОКРЫТИЯ.

КЛАССИФИКАЦИЯ И ПРИМЕРЫ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ

6.1. Трансформация в живой природе и архитектуре

В последние годы конструкции, способные к изменению своей геометрической формы и первоначального положения, стали все шире применяться и в архитектуре. В предшествующий период их можно было увидеть разве что в космической или военной отраслях (солнечные батареи и антенны искусственных спутников, самораскрывающиеся спасательные плоты и пр.). Осознание того, что меняющиеся форма и объем могут стать элементами архитектурного приема, пришло только в самом конце XX века.

В современной архитектуре существует направление, которое получило условное наименование «динамической архитектуры». Объекты такой архитектуры объединены не внешним сходством. Их можно объединить на основе подхода, в основе которого лежит свойство, давно используемое объектами живой природы – свойство трансформации.

Появление такой архитектуры обусловлено динамикой современной жизни, которая требует создания и соответствующих ей трансформируемых архитектурных форм.

В динамической архитектуре трансформация используется для решения следующих функциональных задач:

- временных, обратимых преобразований архитектурного пространства в случае его многофункционального использования;
- регуляции микроклимата помещения за счет обратимых движений конструктивных элементов (ограждающие поверхности, кровли, жалюзи);
- транспортировки сооружений или их элементов в сложенном виде к месту их возведения;
- монтажа других конструкций зданий.

Кроме того, трансформация расширяет не только функциональные возможности эксплуатируемого пространства, но позволяет архитекторам менять и его пластическое решение.

Известно, что многие растения в процессе развития быстро, часто даже заметно для глаза наблюдателя, реагируют на изменение различных факторов внешней среды – освещенности, температуры воздуха, влажности и др. Фото-, гидро- и термостатические движения лепестков и соцветий (открытие и закрывание цветков) представляют интерес как наиболее зрительно осязаемый процесс трансформаций, носящий у многих из них обратимый характер [28].

Принципиальных схем трансформации достаточно много (рис. 6.1). Первая – трансформация объема путем его расчленения на несколько составных частей. При этой схеме составные части трансформируемого объема отделяются друг от друга с помощью специальных конструктивных элементов, которые приводят в движение различными механизмами, но общая форма остается неизменной. Примерами такой трансформации являются помещения с раздвижными и складными перегородками (выставочные залы, административные помещения офисов и т.д.).

Вторая схема – трансформация планировочная. В этой схеме при неизменном объеме меняется планировка помещения. Конструкции, с помощью которых можно осуществить такую трансформацию, также хорошо известны. Это трансформируемые (выдвигающиеся или складывающиеся) трибуны спортивных и концертных залов, сценические и спортивные площадки и т.д.

И, наконец, третий тип трансформации – изменение формы эксплуатируемого пространства.

Осуществляется этот тип трансформации путем изменения положения основных несущих конструкций (или их частей), образующих первоначальную форму здания или сооружения.

Примерами такой трансформации, которую можно назвать «зонтичной», служат раздвижные покрытия или стены спортивных и выставочных комплексов, сооружений космической связи и т.п.

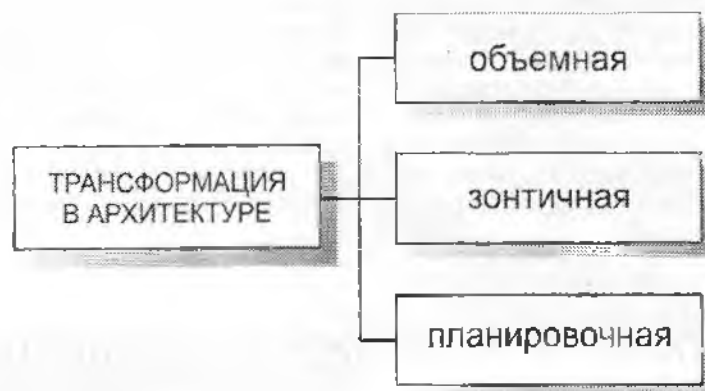


Рис. 6.1. Принципы трансформации в архитектуре

Какие же цели преследует трансформация? Во-первых, и это, пожалуй, главное, – трансформация расширяет функциональные возможности сооружений, повышает их комфортность и рентабельность. Раздвижка стен и потолков залов в теплое время года позволяет увеличить (или, на-

оборот, уменьшить) площадь помещения, обеспечить его лучшую аэрацию и инсоляцию, снизить расходы на освещение и вентиляцию.

Во-вторых, трансформация дает в руки архитекторов новые средства для создания новых выразительных «динамических» объектов.

6.2. Принципы классификации трансформируемых конструкций

В качестве критерия, позволяющего разделить все трансформируемые конструкции на отдельные типы, предлагается принцип, а точнее механизм их перемещения в пространстве. По этому принципу трансформируемые конструкции можно разделить на:

- перемещаемые в пространстве поступательно по прямолинейным или криволинейным направляющим;

- перемещаемые в пространстве путем поворота вокруг горизонтальной, вертикальной или наклонной оси;

- перемещаемые путем разворачивания (складывания);

- элементы комбинированного перемещения.

Предлагаемая классификация трансформируемых покрытий представлена на рис. 6.2.

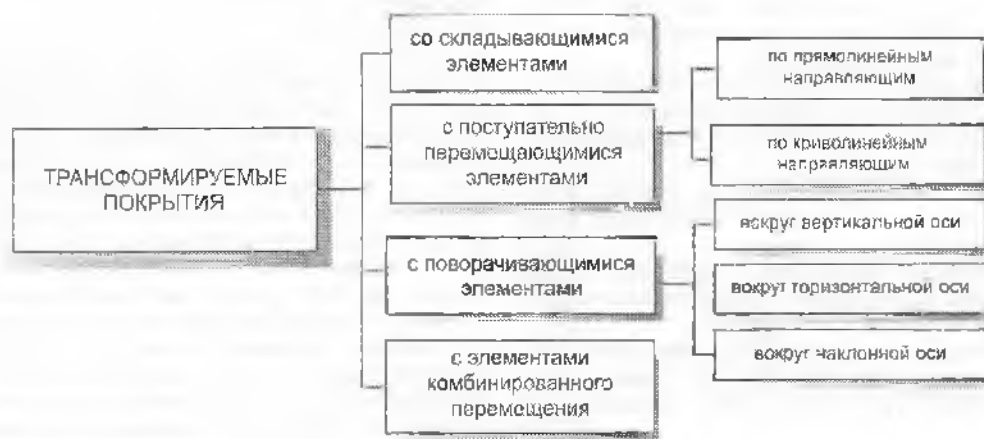
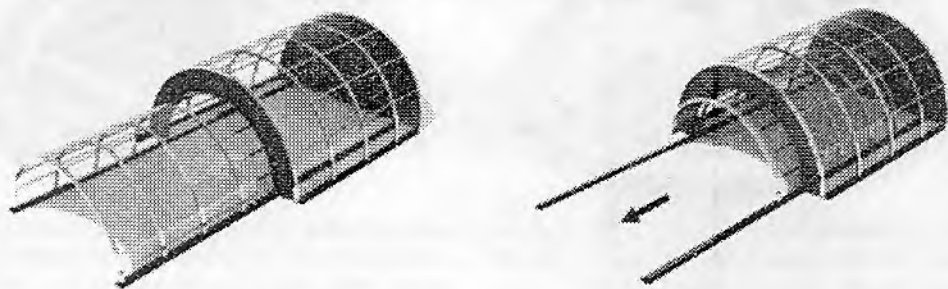


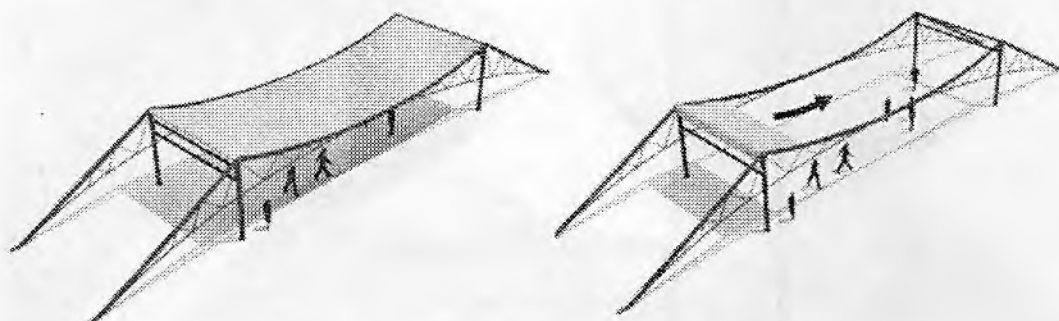
Рис. 6.2. Классификация трансформируемых покрытий по механизму перемещения

ОСНОВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ТРАНСФОРМАЦИИ ПОКРЫТИЙ ЗДАНИЙ

А. ПОСТУПАТЕЛЬНОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ

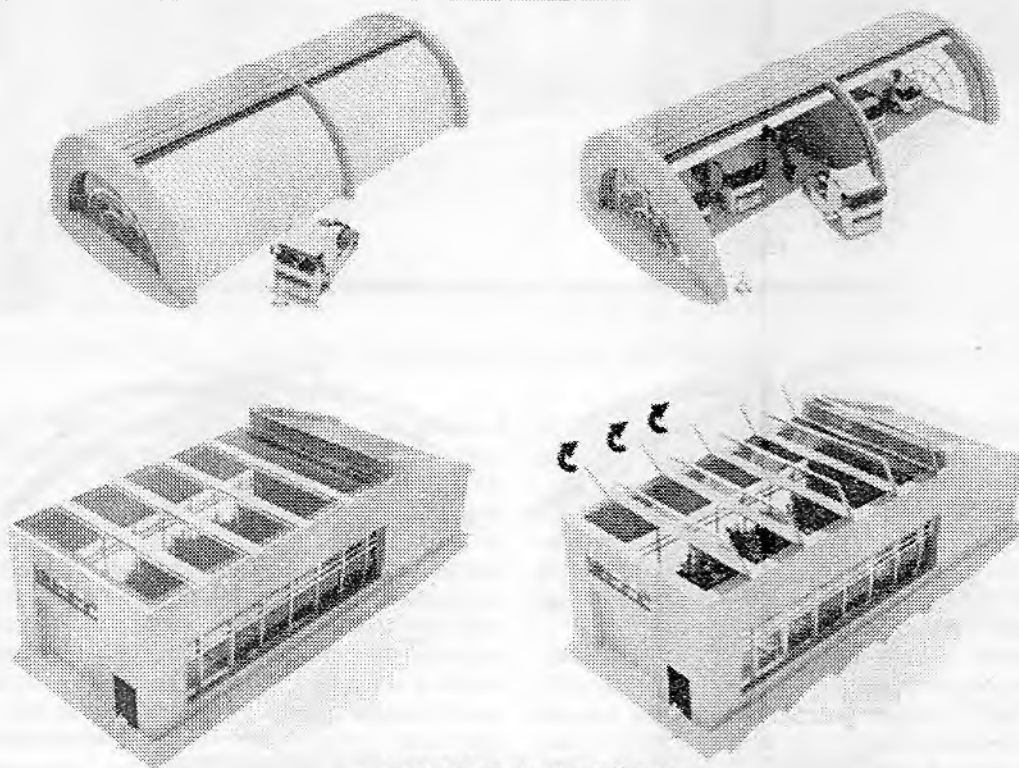


по прямолинейной направляющей



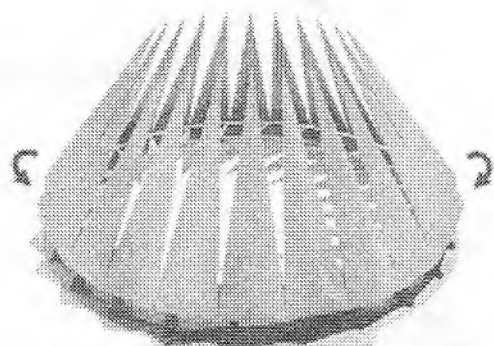
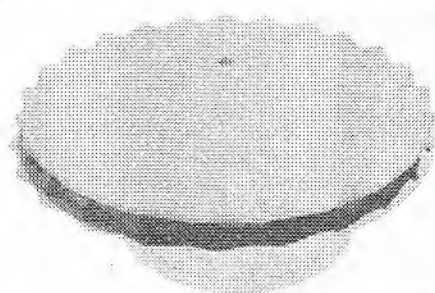
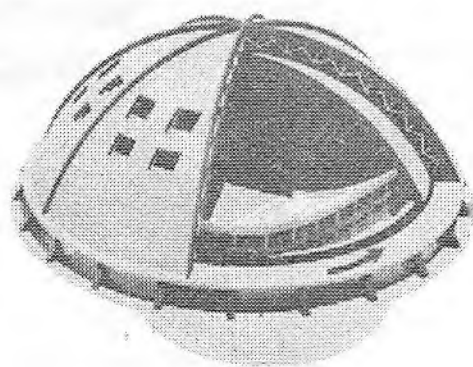
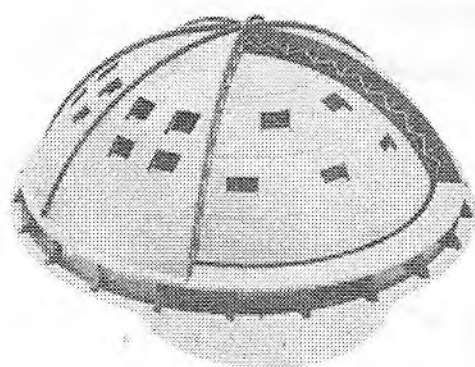
по криволинейной направляющей

Б. ПОВОРОТ



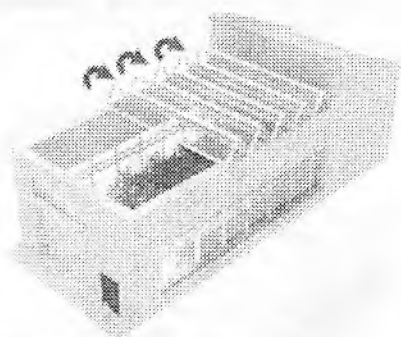
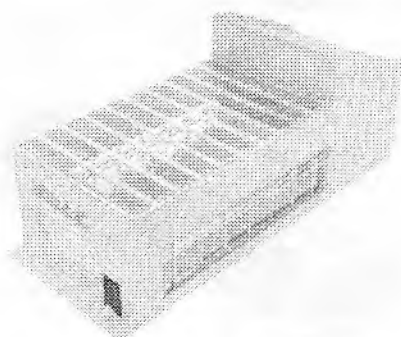
вокруг горизонтальной оси

Лист 6.1

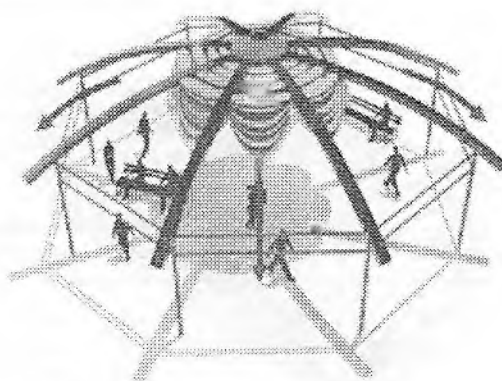
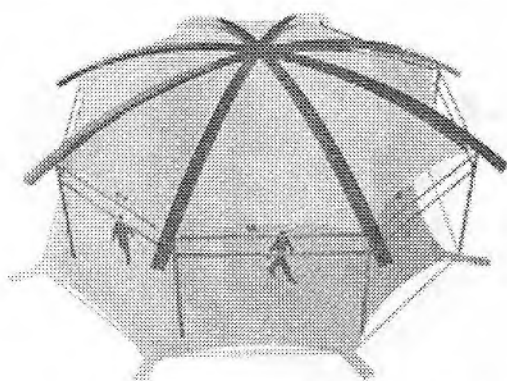


вокруг вертикальной оси

В. СКЛАДЫВАНИЕ + ПЕРЕМЕЩЕНИЕ



складывание и перемещение по прямолинейной направляющей



складывания и перемещение по криволинейной направляющей

Лист 6.2

Принципиальные схемы таких перемещений показаны на рисунках, представленных на листах 6.1 и 6.2.

При первом и втором принципе классификации геометрия трансформируемого элемента мо-

жет оставаться неизменной. При разворачивании (складывании) происходит изменение геометрии конструкции при одновременном поступательном движении или повороте.

6.3. Примеры трансформируемых покрытий в современной архитектуре

Во Франции создана типовая конструкция крытого спортивного комплекса «Туронесоль», принятого для строительства в городских районах с населением от 5 до 15 тыс. жителей. Одним из зданий этого комплекса был бассейн в Нанси близ Парижа. Круглое в плане сооружение диа-

метром 34 м перекрыто куполом со стрелой подъема 6 м, имеющим форму эллипсоида вращения (рис. 6.3). [Подробнее см. Физкультурно-спортивные сооружения: Учебное пособие /Под общ. ред. Аристовой Л.В. – М.: СпортАкадем-Пресс, 1999. – 536 с.].



Рис. 6.3. Трансформируемое покрытие бассейна (Франция)

Купол состоит из неподвижной и подвижной частей. Подвижная часть, соответствующая центральному углу 120° , представляет собой две раздвижные створки, перемещаемые по концентрической поверхности над покрытием. В солнечное время дня створки раздвигаются в противоположные стороны, обеспечивая естественное освещение и инсоляцию бассейна. Несущими конструкциями покрытия служат стальные арочные ребра, сходящиеся в стальном замковом элементе. Каждое арочное ребро включает два криволинейных пояса и объединяющую их треугольную решетку. В уровне земли ребра опираются на кольцевой фундамент. Ограждающая часть покрытия выполнена из трехслойных панелей толщиной 40 мм с

обшивками из стеклопластика и средним слоем из фенольного пенопласта.

В качестве примера трансформации путем поступательного перемещения по криволинейным направляющим можно привести покрытие футбольного стадиона «Arizona Cardinals» (США), вмещающего 63 тыс. зрителей (рис. 6.4) [66].

Пологая оболочка покрытия, перекрывающая футбольное поле размером 240x360 футов (73x110 м), имеет в средней части две раздвижные панели размером 180x240 футов (55x75 м), которые с помощью гидравлической системы, управляемой компьютером, открывают в хорошую погоду игровое поле в течение 12 минут. (Подробнее см. <http://www.azcardinals.com>).

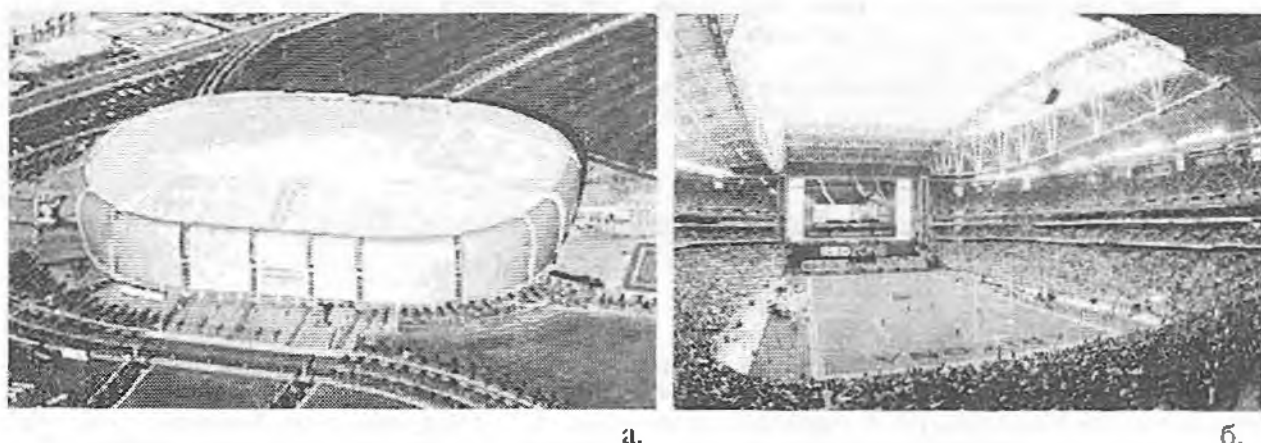


Рис. 6.4. Общий вид (а) и открытая часть (б) покрытия стадиона «Arizona Cardinals»

Примером комбинированного способа трансформации может служить покрытие теннисного корта в Мюнхене (ФРГ). Покрытие центрального корта теннисного стадиона представляет собой тентовую оболочку, прикрепленную к замкнутому опорному контуру. Стабилизация формы оболочки (преднапряжение) обеспечивается системой распорок и оттяжек (рис. 6.5). Средняя часть покрытия выполнена в виде радиальной двухпоясной вантовой системы со смещенным

центром, в котором размещена сложенная тканевая оболочка из специального светопрозрачного материала [52, 62].

При хорошей погоде эта оболочка находится в сложенном состоянии, а при изменении погодных условий (дождь, снег, ветер) она с помощью специальных механизмов раскрывается над игровой зоной корта и трибунами для зрителей. Направляющими для такого способа трансформации служат верхние пояса вантовой системы.

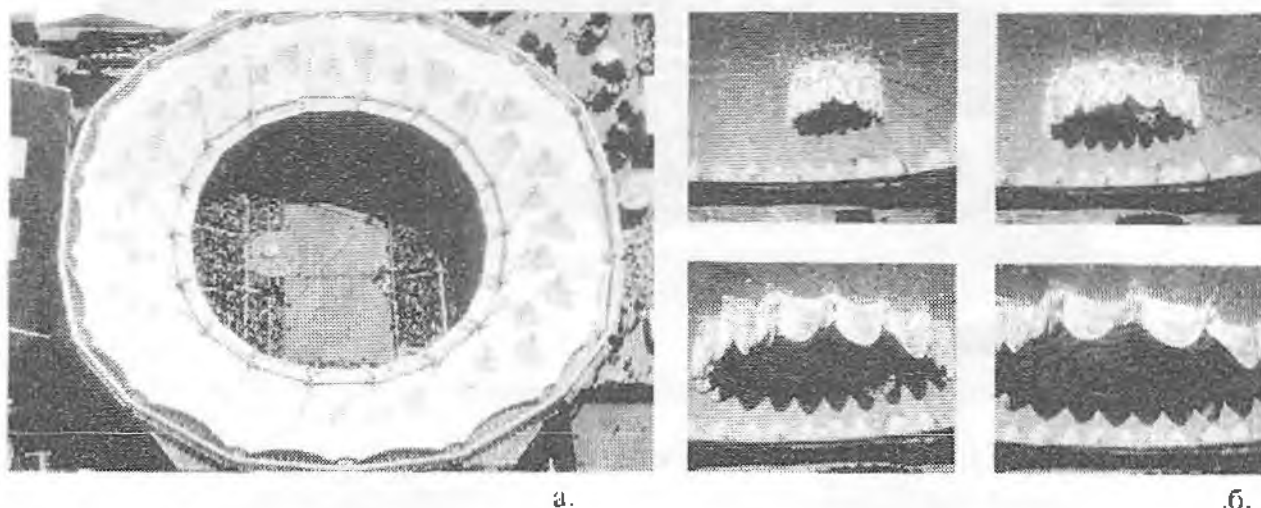


Рис. 6.5. Общий вид (а) и процесс трансформации (б) покрытия теннисного корта в Мюнхене

Трансформируемые конструкции как элементы кинетических объектов архитектуры городской среды имеют большое будущее. По мере внедрения компьютерного моделирования в проектное дело проблемы, связанные с разработкой

динамических моделей будущих зданий, будут не столь сложными, как сегодня. К тому же, проникновение высоких технологий в строительство позволит архитекторам и конструкторам решать немислимые прежде задачи.

7. КОМБИНИРОВАННЫЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ПОКРЫТИЯ.

КЛАССИФИКАЦИЯ И ПРИМЕРЫ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ

7.1. Классификация комбинированных покрытий

Комбинированными называются покрытия, в которых совместно работают элементы рассмотренных выше конструктивных систем — оболочек (жестких и мягких), висячих покрытий, систем регулярной структуры и др. Наиболее наглядными примерами таких покрытий являются составные оболочки, подкрепленные вантами, и подвесные покрытия, у которых основная часть

может быть выполнена или в виде решетчатой плиты, или в виде оболочки (жесткой или мягкой, например, тентовой). Именно сочетание признаков входящих в систему комбинированного покрытия элементов может быть положено в основу их классификации. Например, конструкция покрытия, изображенного на рис. 7.1, относится к складчатой оболочке, подкрепленной вантами.

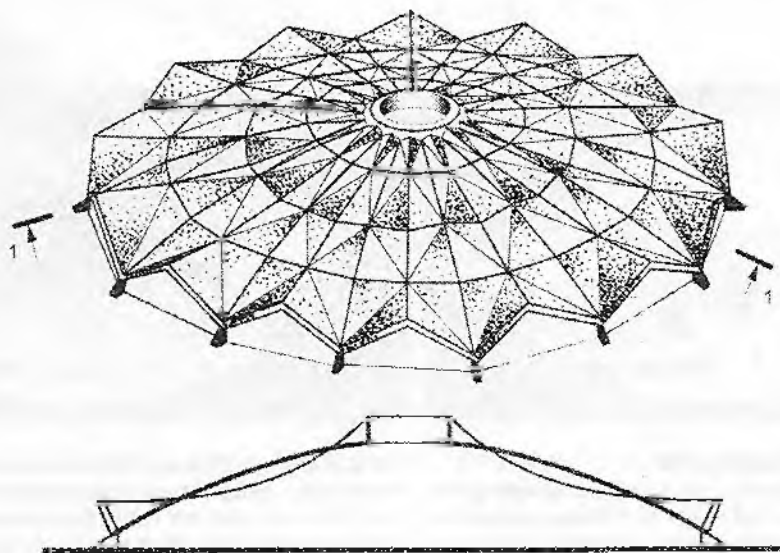


Рис. 7.1. Складчатая оболочка, подкрепленная вантами

Разрабатываются комбинированные системы с целью увеличения несущей способности и пространственной жесткости покрытия, а также поиска новых выразительных архитектурных форм. Сегодня практически все системы покрытий большепролетных зданий проектируются и выполняются комбинированными.

В процессе разработки таких покрытий проектировщики сталкиваются не только с типичными для повседневного строительства задачами и проблемами, но им приходится решать совершенно новые задачи из области материаловедения, машиностроения, пневматики, гидравлики, аэродинамики и пр. Комплексность решения этих

задач позволяет создавать сооружения необычных форм, широкого спектра эксплуатационных возможностей на основе конструктивных решений, ранее не применявшихся в строительстве.

Архитектурные и конструктивные решения комбинированных пространственных покрытий рассмотрим на примерах проекта стадиона на Крестовском острове в Санкт-Петербурге и Купола тысячелетия в Лондоне. Информацию по первому проекту любезно предоставили доктор-инженер Анвар Садыков (мастерская Werner Sobek Ingenieure, Германия) и канд. техн. наук А.М. Мелентьев (ЭКБ ЦНИИСК им. Кучеренко, г. Москва).

7.2. Примеры конструктивных решений

7.2.1. Покрытие стадиона ФК «ЗЕНИТ»

В 2006 г. победу в международном конкурсе на строительство нового современного футбольного стадиона в западной части Крестовского острова Санкт-Петербурга вместимостью не менее 60 000 мест, одержал японский проект «Космический корабль» архитектурной мастерской «Kisho Kurokawa architect & Associates» (рис. 7.2).

Одним из условий конкурса было устройство трансформируемого покрытия над чашей стадиона и выдвигающегося за пределы стадиона футбольного поля.

Разработка рабочей документации по покрытию стадиона была поручена мастерской Werner Sobek Ingenieure, Германия.



Рис. 7.2. Общий вид футбольного стадиона на 60 тысяч мест

Конструкция покрытия

Покрытие стадиона, круглое в плане и диаметром около 288 м, состоит из стационарной и подвижной (раскрывающейся) частей. Все покрытие с помощью систем не лежащих в одной

плоскости тросов подвешено к восьми наклонным пилонам, шарнирно опирающимся на фундаменты. В зонах портов трансформируемой подвижной части покрытие опирается на конструкции лестничных клеток (рис. 7.3).

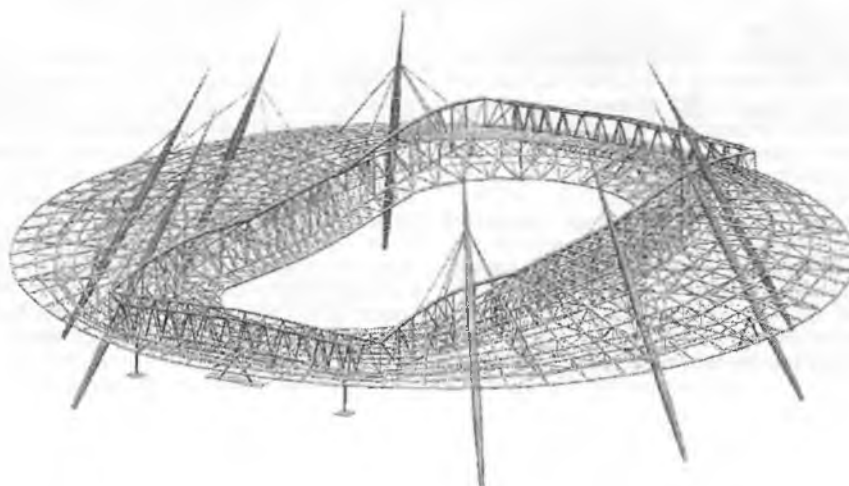


Рис. 7.3. Конструктивная схема стационарной части покрытия

Стационарная часть покрытия

Конструкция стационарной части покрытия представляет собой стальную пространственную стержневую плиту, состоящую из радиальных несущих ферм, объединенных с помощью круговых ферм и балок в единую несущую систему. Для обеспечения жесткости покрытия в его плоскости устроены диагональные связи. В качестве ограждения используется утепленная кровля по профилированному настилу с металлическим покрывающим гидроизолирующим листом. Ближе к раздвижной части покрытия выполнены светопрозрачные проемы (остекление из стеклопакетов).

В центральной части покрытия, над футбольным полем, организовано отверстие размером 224x92 м, над которым устроена трансформируемая часть покрытия, которая будет постоянно закрыта в зимний период, а в теплое время года будет открываться. Для его перемещения по стационарной части покрытия по длинным сторонам внутренней кромки отверстия предусмотрены направляющие несущие фермы.

Эти фермы представляют собой диагональную трехпоясную систему, проходящую вдоль всего периметра проема. Несущая часть этих пространственных ферм расположена вертикально и параллельно боковой линии футбольного поля. Верхние пояса ферм, являющиеся направляющими подвижной части покрытия, имеют криволинейное очертание – поднимаются от центра вверх. Увеличение высоты ферм в этих зонах к тому же увеличивает и их жесткость.

Трансформируемая часть покрытия

С целью обеспечить солнечное освещение травяного поля и естественные условия инсоляции в замкнутой чаше стадиона, в средней части покрытия предусмотрена раздвижная часть, состоящая из 2 рандбалок, закрепленных по краям стационарного покрытия, и 14 подвижных решетчатых ферм, между которыми расположены пневматические подушки, выполняющие роль ограждения. Трансформируемая часть покрытия состоит из двух симметричных подвижных элементов (частей), которые открываются и закрываются, соответственно, в северном и южном направлениях (рис. 7.4).

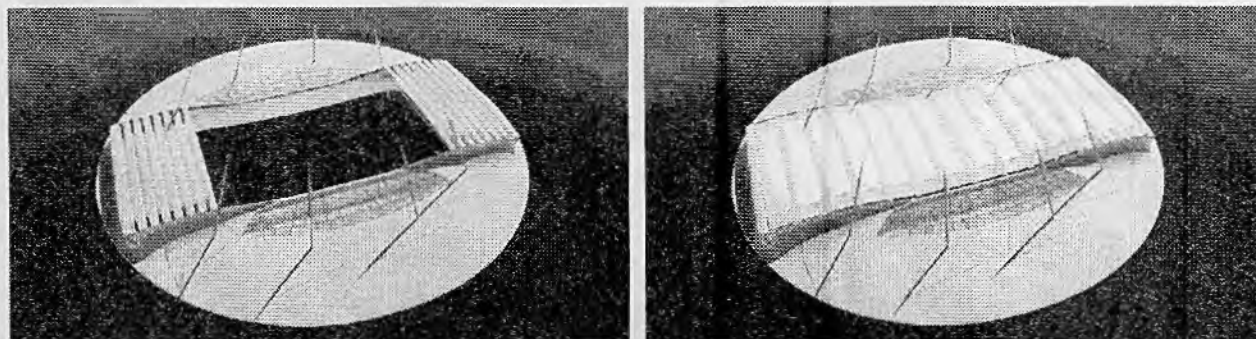


Рис. 7.4. Трансформируемая часть покрытия стадиона в открытом и закрытом положении

Поперечные трехпоясные решетчатые фермы пролетом 98 метров выполняют роль основных несущих элементов, между которыми закрепляются пневматические подушки размером 14x86 метров. Движение каждой фермы вдоль направляющих, расположенных по длине отверстия в покрытии, осуществляется при помощи электроприводного механизма.

В процессе движения ферм (закрывание покрытия) в подушки подается воздух (создается повышенное давление), что обеспечивает раскрытие подушек и стабилизацию их формы (рис. 7.4). При откачивании воздуха из внутреннего пространства между верхней и нижней мембранами подушек происходит их складывание (покрытие открывается).

Давление воздуха внутри воздушной подушки поддерживается средствами активного управления на постоянном уровне 200 Па или на максимальном уровне 1400 Па во время снегопада. В целях обеспечения безопасности (например, на случай выведения одной подушки из строя) в соответствующих расчетных комбинациях учтено, что давление воздуха в каждой подушке изолировано (подается и откачивается у каждой подушки индивидуально).

Механизмы надувания и складывания подушек, а также контроля синхронности перемещения ферм оснащаются различными датчиками, контролирующими их работу.

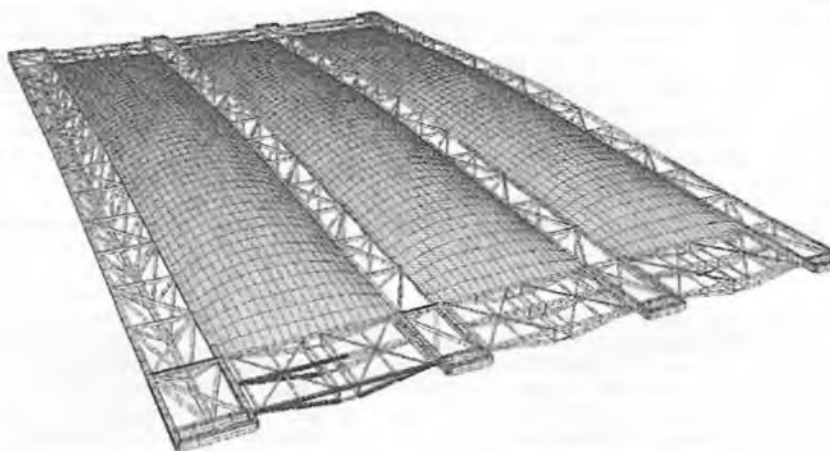


Рис. 7.4. Трансформируемые элементы покрытия (фермы и пневмоподушки) в закрытом положении

Функции складывающегося (раскладывающегося) механизма выполняют элементы в виде торцевых шпренгельных ферм, шарнирно связанных с основными поперечными несущими ферма-

ми (рис. 7.5). Для обеспечения надежного замыкания шпренгельной фермы в средней ее части при закрывании покрытия применяется специальная система моторов и полиспастов.

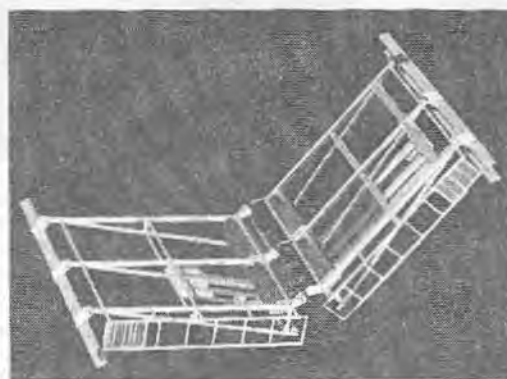
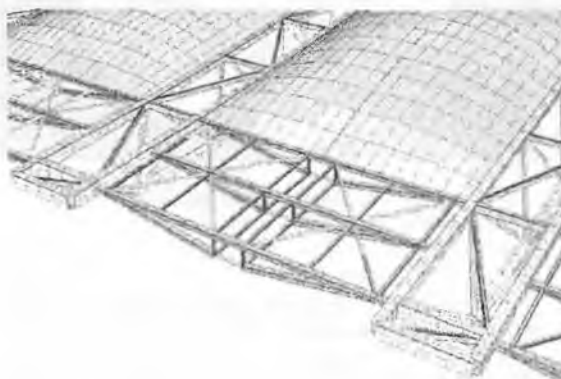


Рис. 7.5. Торцевые складывающиеся шпренгельные фермы

Закрывание и открывание трансформируемой части покрытия происходит последовательно: первая ферма начинает движение и одновременно наполняется воздухом первая пневмоподушка. При достижении проектного положения пневмоподушек шпренгельные полуфермы замыкаются в замок и образуют жесткую несущую конструкцию - ферму. Затем раскрывается следующий пролет и так далее. После полного раскрытия двух подвижных частей замыкается замок между ними, обеспечивая совместную работу всей трансформируемой части покрытия и надежную изоляцию внутреннего пространства стадиона.

О конструктивной схеме покрытия

Во-первых, это подвесное покрытие, поскольку есть система вант, с помощью которой это покрытие подвешено к опорным мачтам. Во-вторых, в покрытии есть решетчатая плита, которая относится к системам регулярной структуры. И, в-третьих, в покрытии есть пневмоподушки, которые по конструктивному признаку относятся к мягким оболочкам. К тому же, в покрытии есть и трансформируемая, подвижная часть. Таким образом, несущая система покрытия включает в себя элементы разных типов пространственных конструкций и поэтому считается комбинированной.

7.2.2. «Купол тысячелетия» («Millenium Dome»)

Еще одним впечатляющим примером комбинированной конструкции является покрытие универсальной арены, построенной в Гринвиче (Лондон) по проекту известного архитектора, лауреата прицкеровской премии Ричарда Роджерса. Арена, получившая название «Millenium Dome», или «Купол тысячелетия», является одним из самых больших в мире зданий подобного типа. Его диаметр равен 320 м, а длина окружности достигает одного километра. Купол накрывает участок площадью 8 гектаров (рис. 7.7) [55, 56].

Пологую тентовую оболочку купола, изготовленную из стеклоткани, пропитанной тефлоном, удерживают 12 решетчатых мачт, каждая из которых имеет высоту 100 метров. С этих мачт свисают 70 км троса, который поддерживает оболочку и обеспечивает ей необходимую форму.

На оболочку купола было израсходовано около 50 тонн стеклоткани, которую до этого с успехом применяли при строительстве Олимпийского купола в Атланте (США, штат Джорджия), Олимпийского стадиона в Риме, вокзала для поездов в тоннеле под Ла-Маншем в Фоукстоне (Великобритания), а также крыши над деревней для паломников в Мекке (Саудовская Аравия).

Оболочка состоит из 144-х отдельных панелей, расположенных в два ряда; в верхнем ряду находятся треугольные панели, а внизу располагаются трапециевидные панели. Панели «приварены» одна к другой, образуя прочные участки, самый большой из которых имеет в длину 80 м, площадь 928 квадратных метров и весит 1200 кг. Чтобы во время дождя влага не конденсировалась внутри помещения, крышу сделали из двух слоев, толщина каждого менее 1 мм.

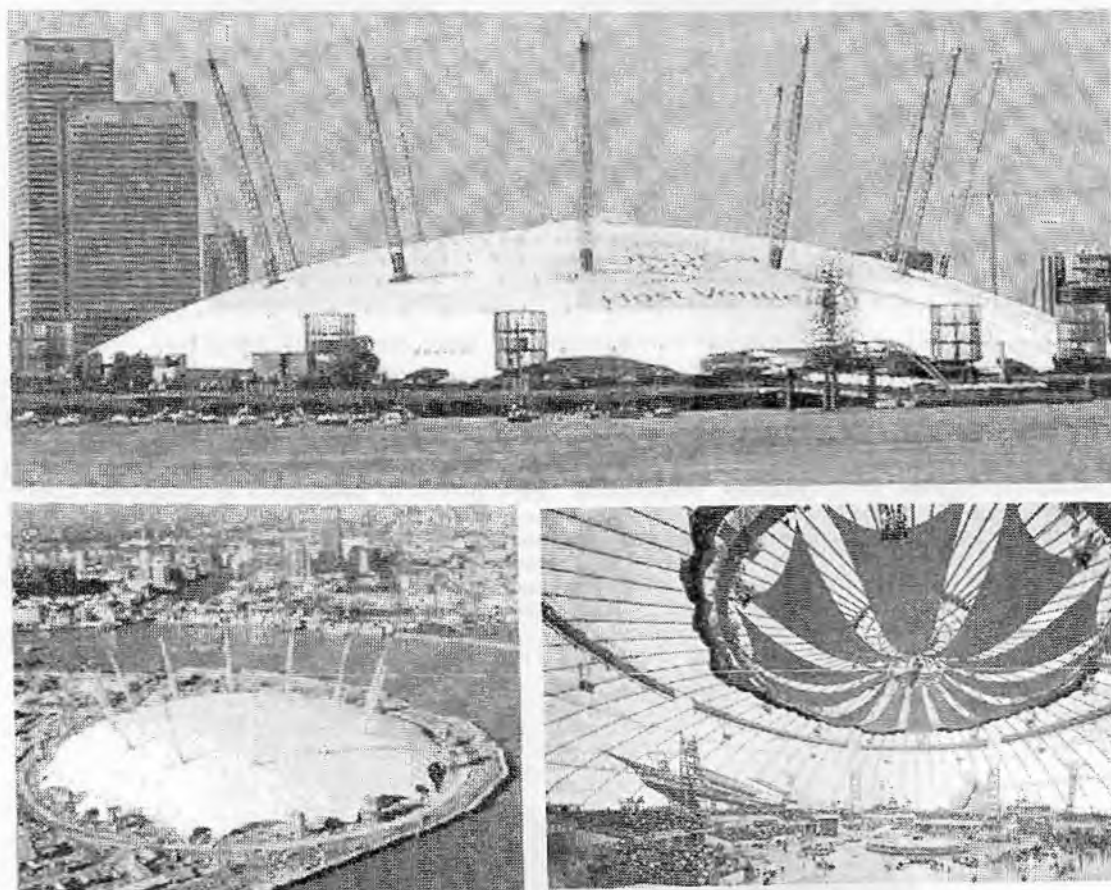


Рис. 7.7. Купол тысячелетия. Общий вид, вид с высоты птичьего полета, интерьер

8. ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ ПОКРЫТИЙ В КЫРГЫЗСТАНЕ

В республике накоплен определенный опыт проектирования и строительства зданий различного назначения с применением пространственных конструкций покрытий.

Рассмотрим наиболее яркие архитектурные и конструктивные решения таких покрытий. Более подробный анализ объектов с такими покрытиями можно найти в [41–44].

8.1. Оболочки

В начале 70-х годов в парке Дружбы (сейчас это парк им. Ата-Юрты) в г. Бишкек возведено летнее кафе на 70 посадочных мест (рис. 8.1). Покрытие кафе решено в виде зонтичной железобетонной монолитной оболочки составной формы поверхности. Образующие оболочку «лепестки» имеют поверхность отрицательной гауссовой кривизны.

Особенностью данной конструкции, помимо интересного архитектурного решения, было применение (впервые в практике отечественного строительства) безрулонной кровли – плита оболочки выполнена из плотного водонепроницаемого бетона.

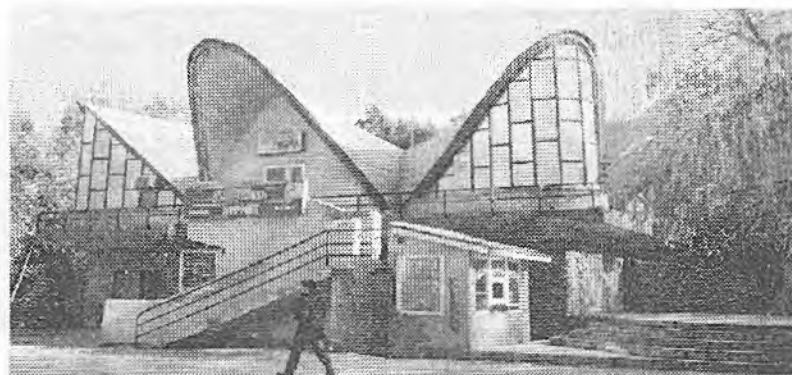


Рис. 8.1. Кафе «Бермет» с покрытием в виде зонтичной оболочки

Другим примером использования при проектировании и строительстве жесткой оболочки служит покрытие цирка на 2 тыс. мест в г. Бишкеке. Возведенный по проекту института ЦНИИЭП зрелищных зданий и спортивных сооружений им. Мезенцева (г. Москва) круглый в плане цирк перекрыт сборно-монолитным железобетонным складчатым куполом (рис. 8.2).

Образующие купол V-образные сборные элементы опираются на среднее и верхнее опорные кольца (рис. 8.3). Среднее кольцо наружным диаметром 72,8 м и шириной 6 м, в свою очередь,

опирается на нижние складки-подкосы, объединенные нижним опорным кольцом диаметром 45,3 метра.

Верхние складки длиной 23,6 м состоят из двух элементов заводского изготовления, соединенных перед установкой в проектное положение сваркой закладных деталей. Нижние складки соединяются с несущими конструкциями фойе и амфитеатра зрительного зала на отметке 7,50 с помощью нижнего опорного кольца.

Здание цирка эксплуатируется более 30 лет и находится в хорошем техническом состоянии.



Рис. 8.2. Цирк в г. Бишкек с покрытием в виде складчатого купола

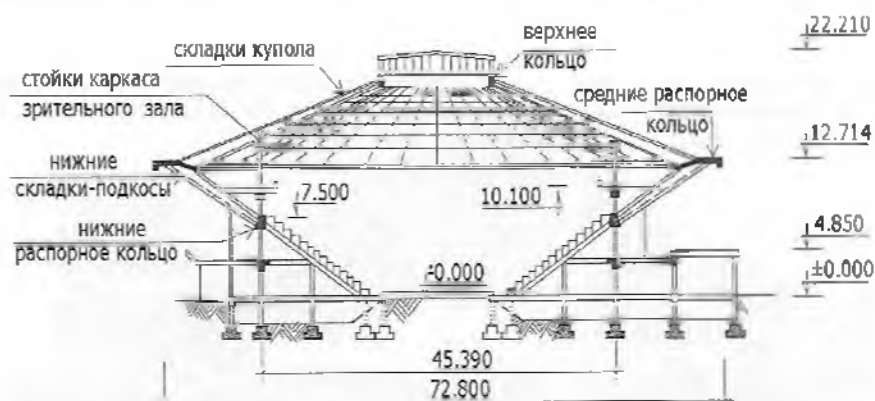


Рис. 8.3. Конструктивное решение цирка

8.2. Системы регулярной структуры

Покрытия в виде систем регулярной структуры применены в зданиях различного назначения. Структурные плиты из стержней круглого поперечного сечения (структуры «Кисловодск») использованы при строительстве одного из зда-

ний республиканского выставочного комплекса, павильонов на Орто-Сайском (рис. 8.4), Аламединском и Ошском рынках г. Бишкек, ряда производственных зданий (завод ЖБИ, АО «Дастан» и др.).

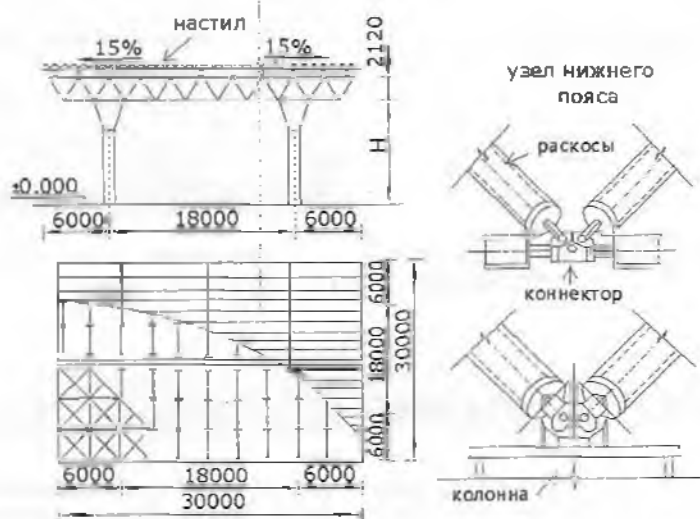
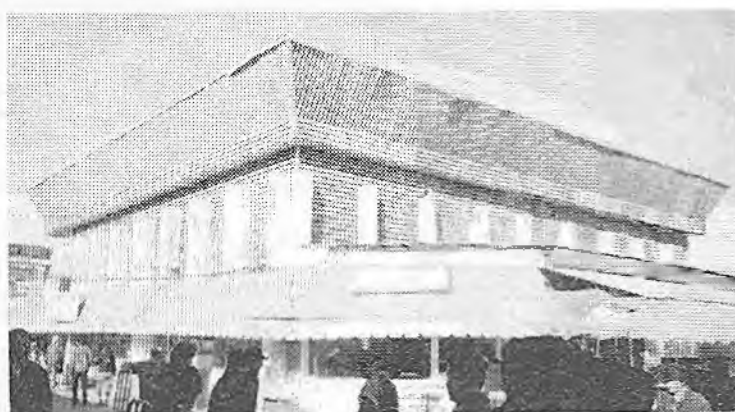


Рис. 8.4. Павильон на Орто-Сайском рынке. Покрытие - стержневая плита из трубчатых элементов типа «Кисловодск»

Структура из прокатных профилей с соединением на болтах нормальной точности (типа «ЦНИИСК») применена при строительстве спец-

автоцентра в г. Бишкек (рис. 8.5), производственных зданий в Кара-Коле, Токмоке и др. районах республики.

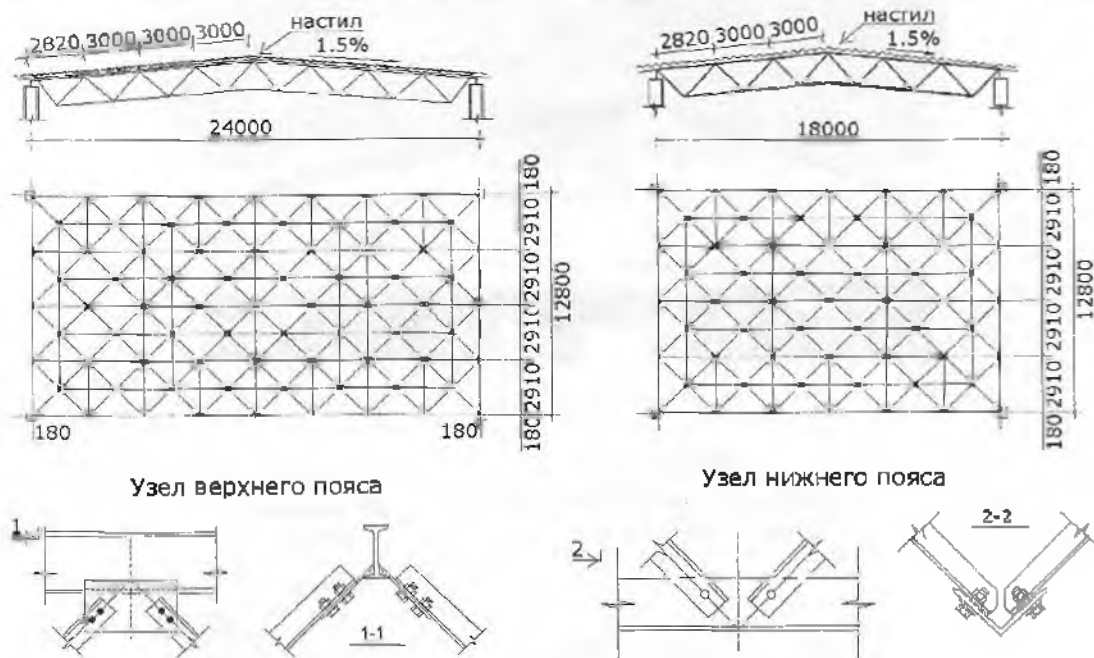


Рис. 8.5. Спецавтоцентр. Покрытие - стержневая плита из прокатных профилей типа «ЦНИИСК»

8.3. Висячие покрытия

Построенный в 1974-1975 г.г. по проекту института «Фрунзгорпроект» главный павильон выставочного комплекса треугольной формы в плане с размерами сторон 70 м перекрыт висячим покрытием в виде вантовой сети отрицательной гауссовой кривизны (рис. 8.6).

С целью стабилизации формы и обеспечения предварительного напряжения всей системы между несущими провисающими тросами и опорным контуром устанавливались специальные тяжёлые муфты.

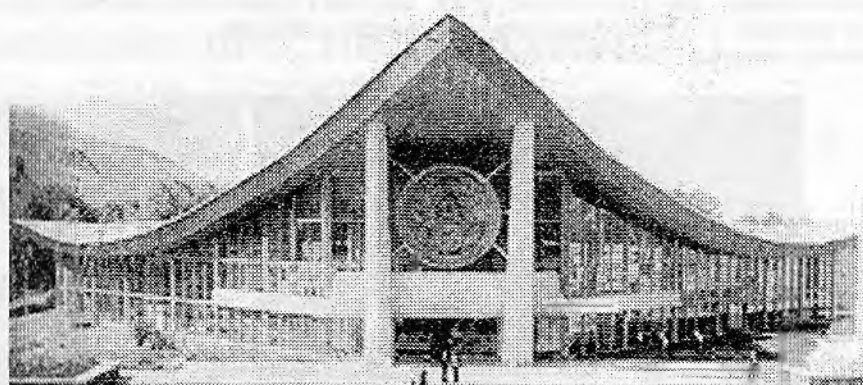


Рис. 8.6. Общий вид и конструктивное решение покрытия выставочного павильона

Для покрытия основного зала Дворца спорта им. Кожомкула была применена комбинированная мембранно-балочная система, разработанная в ЦНИИСК им. Кучеренко (г. Москва).

В этом покрытии стальная мембрана толщиной всего 2 мм опирается на четыре поперечные стальные балки и два стальных листовых подбора (рис. 8.7).

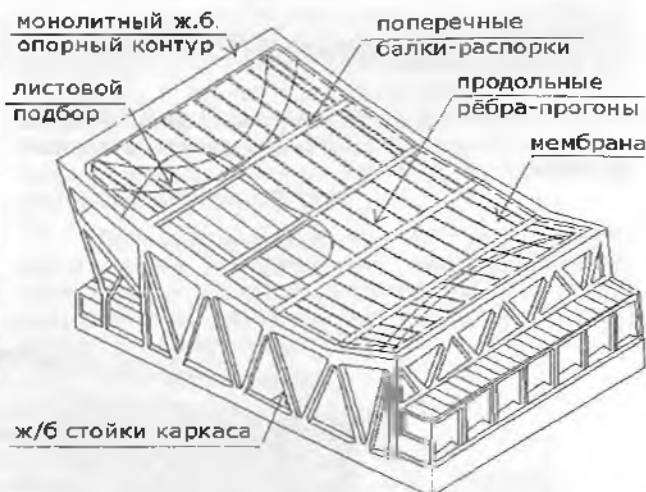
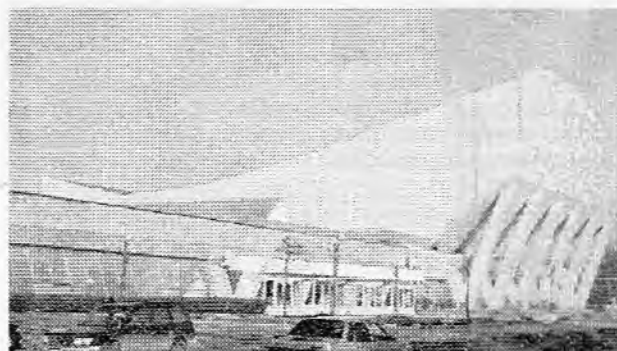


Рис. 8.7. Киноконцертный зал Дворца Спорта им. Кожомкула.

8.4. Трансформируемые покрытия

Для летнего ресторана в г. Чуй-Токмок разработана оригинальная трансформируемая арочно-тентовая конструкция покрытия (рис. 8.8). Авторы проекта – архитектор Н. Маркова, конструктор Ю. Сюяров (Студия "Museum").

Все несущие конструкции каркаса сборно-разборные, стальные, из трубчатых элементов. Покрытие трансформируемое, с продольным перемещением по верху декораций. Ограждающие конструкции покрытия и стен – специальная ткань.

Основные несущие элементы - бесшарнирные, четырехпоясные, параболические арки шириной 1400 мм на опоре. Для обеспечения устойчивости пролетом 24 м и высотой 5 м имеют переменную ширину поперечного сечения арки принята постоянной - 600 мм. высоту поперечного сечения - 620 мм в коньке и

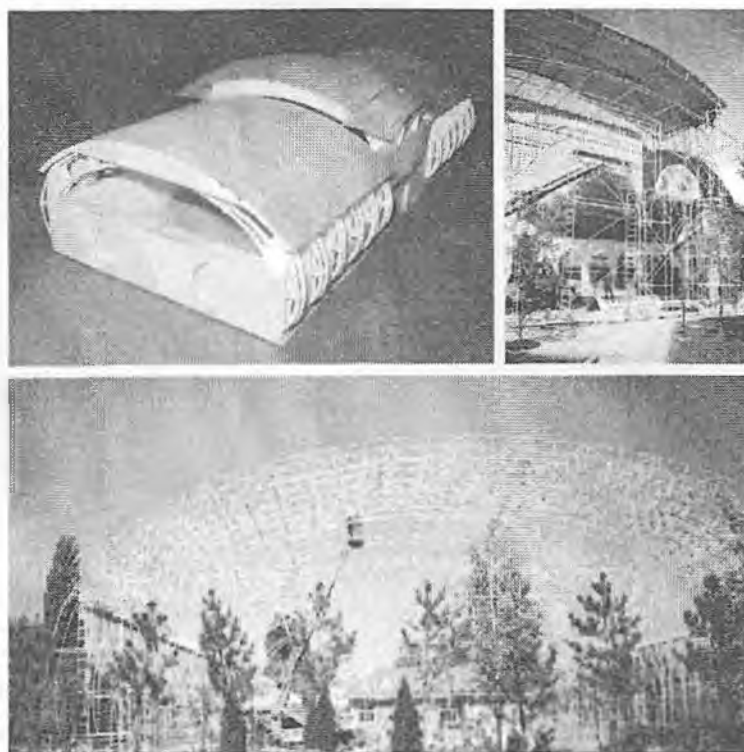


Рис. 8.8. Трансформируемое покрытие летнего ресторана в г. Чуй-Токмок

8.5. Мягкие оболочки

В 2009 г. в восточной промзоне г. Бишкек введен в эксплуатацию городской спортивно-развлекательный комплекс.

Основное здание комплекса представляет собой мягкую воздушноопорную оболочку, усиленную канатами (рис. 8.9).



Рис. 8.9. Воздухоопорная оболочка покрытия спортивно-развлекательного комплекса в г. Бишкек

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ – СИНТЕЗ ИСКУССТВА, ТЕХНИКИ И НАУКИ (вместо заключения)

Очередной этап технического прогресса, который начался после Второй мировой войны, был связан с высокой наукоемкостью техники и синтезом различных областей естественных наук. Не стала исключением в этом процессе и архитектура, которая в мире постоянно увеличивающейся скорости жизни стремится выразить давнюю мечту человека – преодолеть время и пространство. С инженерной точки зрения это стремление отражается в поиске новых, чаще всего пространственных несущих систем зданий, создании новых, более сложных конструктивных систем на основе последних достижений в области материаловедения (создания современных материалов и конструкций), строительной механики, технологии.

И пространственные конструкции, являющиеся символом новой тектоники, наилучшим образом отражают это направление в современной архитектуре. Архитектура прошлого – это архитектура больших масс и громоздких конструкций, архитектура простых планов и простых геометрических форм. Символ такой архитектуры – тектоника положенных и поставленных друг на друга строительных элементов, работающих, в основном, на сжатие.

Современная архитектура, широко использующая металл, бетон, стекло, синтетические ткани и пленки, демонстрирует принципиально новую тектонику, в которой несущие каркасы предстают в виде объемов самой разнообразной конфигурации – правильных и неправильных многогранников, составных поверхностей складчатой и криволинейной формы, неограниченно развивающихся в пространстве. При этом высота и перекрываемые пролеты зданий (мы уже не говорим о сооружениях типа мостов и пр.) достигают сегодня сотен метров и включают в себя большие функционально связанные между собой внутренние пространства (см. «Купол тысячелетия», «Проект Эдем» и др.).

Изменился и принцип работы основных несущих конструкций. Если в классической архитектуре это работа конструкций на сжатие, то в современной – на растяжение.

Приведенные в пособии примеры показывают неразрывную связь современной архитектуры с передовыми техническими устройствами и элементами инженерного оборудования: системами электроники, механики, освещения, вентиляции и т.д. (см. разделы 6 и 7 – покрытия стадионов ФК «Зенит», «Локомотив», «Arizona Cardinals» и др.). Только благодаря последним достижениям в области технологии изготовления и монтажа конструкций стало возможным осуществление таких грандиозных проектов, как «Птичье гнездо», «Водяной куб» и Национальный театр в Пекине, небоскреба «Корнешон» в Лондоне, купола над Рейхстагом в Берлине и многих других поражающих воображение объектов*.

Подытоживая сказанное, приведем очень интересную, на наш взгляд, мысль одного из основателей современной архитектуры, всемирно известного швейцарского проектировщика, художника и писателя Ле Корбюзье, который в одном из своих выступлений предложил архитекторам... «Мыслить конструкциями...».

Что же значит «мыслить конструкциями»? Нам представляется, что «мыслить конструкциями», значит мыслить широко, нестандартно, опираясь на богатый опыт мастеров мировой архитектуры и знания из разных областей науки и техники. Не забывая при этом, что конструкции являются элементами нашего пространственно-предметного окружения, элементами материальной и духовной культуры.

Принципиальная основа универсального языка современной архитектуры не изменилась – это тектоника, то есть художественное выражение конструктивной сущности сооружения.**

*-100 чудес современной архитектуры/Пер. с англ.- М.: ЗАО «БММ», 2006. – 240 с.

** - Гутнов А.Э. Мир архитектуры: Язык архитектуры. – М.: Молодая гвардия, 1985. - 351 с.

Использованные источники

К главе 1

1. История строительной техники: Учебн. пособие для инженерно-строительных вузов / Н.Н.Аистов, Б.Д.Васильев, В.Ф. Иванов и др. Под общ. ред. В.Ф.Иванова. – М.-Л.: Госстройиздат, 1962. – 560 с.
2. Коуэн Г. Дж. Мастера строительного искусства: История проектирования сооружений и среды обитания со времен Древнего Египта до XIX века / Пер. с англ. Д.Г. Копелянского. Под ред. Л.Ш. Килимника. – М.: Стройиздат, 1982. – 240 с.
3. Юрген Ёдике. История современной архитектуры. Синтез формы, функции и конструкции. – М.: Искусство, 1972. – 247 с.
4. Бюттнер О., Хампе Э. Сооружение – несущая конструкция – несущая структура: Анализ живой природы и градообразующей среды / Пер. с нем. – М.: Стройиздат, 1983. – 340 с.
5. Фюрер В., Ингендай С., Штайн Ф. Проектирование несущих конструкций / Пер. с нем. О.С. Вершинина; Под ред. Ю.А. Дыховичного. – М.: Стройиздат, 1987. – 200 с.
6. Энгель Х. Несущие системы / Пер. с нем. Л.А. Андреевой. – М.: АСТ:АСТРЕЛЬ, 2007. – 344 с.
7. Уемов А.И. Системный подход и общая теория систем. – М.: Мысль, 1978. – 272 с.
8. Zoltan Visy. Buiding systems – system building. Proceedings symposium on "System Building". Publ. 60. – Budapest, 1981. – P. 43–47.
9. Дыховичный Ю.А., Жуковский Э.З. Составные пространственные конструкции. – М.: Высшая школа, 1989. – 285 с.
10. Морозов А.П., Василенко О.В., Миронков Б.А. Пространственные конструкции общественных зданий. Изд. 2-е, перераб. и доп. – Л.: Стройиздат, 1977. – 168 с.
11. Рюле Г., Кюн Э. и др. Пространственные покрытия (Конструкции и методы возведения). В 2-х т. / Под общ. ред. Г. Рюле. Т. I. Железобетон, армоцемент; Пер. с нем. С.Б. Ермолова. – М.: Стройиздат, 1973. – 304 с.
12. Семенов В.С. Эффективные пространственные металлические конструкции покрытий зданий в практике проектирования и строительства Кыргызстана. – Кырг. гос. ун-т строит., трансп. и архит. – Бишкек, 2004. – 180 с.

К главам 2-8

13. Архитектура: форма; пространство; композиция / Чинь, Франсис Д.К. / Пер. с англ. Е. Нетесовой. – М.: АСТ: Астрель, 2005. – 399 с.
14. Анищенко А. Архитектура сооружений с висячими покрытиями. – Киев: Будівельник, 1970. – 128 с.
15. Бескаркасные складчатые конструкции / А.Я. Прицкер и др. – Киев: Будивельник, 1991. – 88 с.
16. Большепролетные конструкции покрытий общественных и промышленных зданий: Альбом чертежей / Зверев А.Н. СПб. гос. арх. строит. ун-т, 1998.
17. Гохарь-Хармандарьян И.Г. Большепролетные купольные здания. – М.: Стройиздат, 1971. – 151 с.
18. Дмитриев Л.Г., Касилов А.В. Вантовые покрытия (расчет и конструирование). Изд. 2-е, перераб. и доп. – Киев: Будівельник, 1974. – 272 с.
19. 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.
20. Ермолов В.В. Воздухоопорные здания и сооружения. – М.: Стройиздат, 1980. – 304 с.
21. Еремеев П.Г. Пространственные тонколистовые металлические конструкции покрытий: Научное издание. – М.: Издательство АСВ, 2006. – 560 с.
22. Еремеев П.Г. Современные стальные конструкции большепролетных покрытий уникальных зданий и сооружений: Монография. – М.: АСВ, 2009. – 336 с.
23. Канчели Н.В. Строительные пространственные конструкции. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 120 с.
24. Каталог рекомендуемых типов пространственных конструкций для общественных зданий с большими пролетами / Авт.-сост. Б.А. Миронков. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1977. – 160 с.
25. Кирсанов Н.М. Висячие и вантовые конструкции: Учеб. пособие для вузов. – М.: Стройиздат, 1981. – 158 с.
26. Конструкция и форма в советской архитектуре / Ю.П. Волчок и др. – М.: Стройиздат, 1980. – 263 с.
27. Липницкий М.Е. Купола (расчет и проектирование). – Л.: Изд-во лит-ры по строительству, 1973. – 129 с.
28. Лебедев Ю.С. Архитектура и бионика. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1977. – 221 с.
29. Миронков Б.А., Лубо Л.Н. Рекомендации по проектированию и расчету плит регулярной структуры из армоцементных элементов. – Л.: Изд-во ЛенЗНИИЭПа, 1982. – 56 с.
30. Михайленко В.Е., Ковалев С.Н. Конструирование форм современных архитектурных сооружений. – К.: Будівельник, 1978. – 112 с.
31. Москалев Н.С. Конструкции висячих покрытий. – М.: Стройиздат, 1980. – 331 с.
32. Отто Ф. Висячие покрытия – их формы и конструкции / Пер. с нем. В.Г. Калиша; Под ред. И.Г. Людковского. – М.: Госстройиздат, 1960. – 180 с.
33. Отто Ф., Шлейер Ф.-К. Тентовые и вантовые строительные конструкции. – М.: Стройиздат, 1970. – 175 с.

34. Отто Ф. Пневматические строительные конструкции: конструирование и расчет сооружений из тросов, сеток и мембран / Пер. с нем. А.А. Гогешвили. – М.: Изд-во лит-ры по стр-ву, 1967. – 320 с.
35. Пневматические строительные конструкции / В.В. Ермолов, У. У. Бэрд, Э. Бубнер и др.; Под ред. В. В. Ермолова. – М.: Стройиздат, 1983. – 439 с.
36. Попов А.Н., Казбек-Казиев В.А., Файбышенко В.К. Современные пространственные конструкции. – М.: Знание, 1976. – 48 с.
37. Рекомендации по проектированию структурных конструкций / ЦНИИСК им.В.А. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1984. – 303 с.
38. Рюле Г., Кюн Э. и др. Пространственные покрытия (Конструкции и методы возведения): В 2-х т. / Под общ. ред. Г. Рюле. Т. I. Железобетон, армированный; Пер. с нем. С.Б. Ермолова. – М.: Стройиздат, 1973. – 304 с.
39. Рюле Г., Аккерман Г. и др. Пространственные покрытия (Конструкции и методы возведения): В 2-х т. / Под общ. ред. Г. Рюле. Т. II. Металл, пластмассы, дерево, керамика; Пер. с нем. С.Б. Ермолова. – М.: Стройиздат, 1974. – 247 с.
40. Семенов В.С. Пространственные тонколистовые металлические оболочки покрытий в отечественном и зарубежном строительстве: Экспресс-информация КиргизИНТИ. – Фрунзе, 1977, № 4 – 31 с.
41. Семенов В.С. Опыт проектирования и строительства в Киргизии общественных и промышленных зданий с сейсмостойкими пространственными покрытиями // Строит. и архит. Узбекистана. – 1979, №11. – С.28–31.
42. Семенов В.С. Покрытия сельскохозяйственных зданий из шпренгельных элементов. – Бишкек: Илим, 1991. – 86 с.
43. Семенов В.С., Мамашев Х.С. Легкие стальные стержневые блоки в покрытиях открытых навесов. Строительные конструкции и материалы / Отв. ред. Ю.В.Пазюк. – Фрунзе: Илим, 1990. – С. 39–49.
44. Семенов В.С. Эффективные пространственные металлические конструкции покрытий зданий в практике проектирования и строительства Кыргызстана. – Бишкек: Кырг. гос. ун-т строит. трансп. и архит., 2004. – 180 с.
45. Современные пространственные конструкции (железобетон, металл, дерево, пластмассы): Справочник / Ю.А. Дыховичный, Э.З. Жуковский, В.В. Ермолов и др. Под. ред. Ю.А. Дыховичного, Э.З. Жуковского. – М.: Высшая школа, 1991. – 543 с.
46. СП 52-117-2008: Железобетонные пространственные конструкции покрытий и перекрытий. Часть 1. Методы расчета и конструирование. НИИЖБ им. А.А. Гвоздева. – М.: ФГУП «НИЦ «Строительство», 2008. – 150 с.
47. Трофимов В.И. Большегопролетные пространственные покрытия из тонколистового алюминия. – М.: Стройиздат, 1975. – 165 с.
48. Трофимов В.И., Бегун Г.Б. Структурные конструкции. – М.: Стройиздат, 1972. – 213 с.
49. Трофимов В.И., Каминский А.М. Легкие металлические конструкции зданий и сооружений: Учебное пособие. – М.: Изд-во АСВ, 2002. – 576 с.
50. Трущев А.Т. Пространственные металлические конструкции: Учебное пособие для вузов. – М.: Стройиздат, 1983. – 251 с.
51. Штолько В.Г. Архитектура сооружений с висячими покрытиями. – Киев: Будівельник, 1979. – 152 с.
52. Beyond materiality. Catalog. Werner Sobek Ingenieure. Publisher Kristin Fiereiss, Hans-Jurgen Camerell. – Berlin, Germany, 2002. – 62 p.
53. Dent R. N. Principles of pneumatic architecture. L., 1971. – 120 p.
54. Sobek W. Light Works. Publishers for architecture and design. – Ludwigsburg, Germany, 2008. – 156 p.

Интернет-ресурсы

55. <http://www.millennium-dome.co.uk>
56. <http://www.o2-millennium-dome.co.uk>
57. <http://www.grimshaw-architects.com>
58. <http://www.forma.spb.ru>
59. http://ctoday.ru/article/modern_architecture
60. <http://www.bfi.org>
61. <http://www.hoberman.com>
62. <http://www.wernersobek.de>
63. <http://biosphere.ec.gc.ca>
64. <http://stadium.dallascowboys.com>
65. <http://www.projectclassica.ru>
66. <http://www.azcardinals.com/stadium>

Рекомендуемый список литературы по теме: «Материал в архитектуре»

1. Айрапетов Д.П. Материал и архитектура. – М.: Стройиздат, 1978. – 270 с.
2. Айрапетов Д.П., Заварихин С.П., Макотинский М.П. Пластмассы в архитектуре. – М.: Стройиздат, 1981. – 190 с.
3. Лисенко Л.М. Дерево в архитектуре. – М.: Стройиздат, 1984. – 176 с.
4. Ясиевич В.Е. Бетон и железобетон в архитектуре. – М.: Стройиздат, 1980. – 185 с.
5. Мардер А.П. Металл в архитектуре. – М.: Стройиздат, 1980. – 232 с.
6. В. Е. Байер. Материаловедение для архитекторов, реставраторов, дизайнеров: Учебное пособие. – М.: Астрель, 2005. – 256 с.

Термины и их определения

А. Геометрии и теории поверхностей

Линия (определенная данным уравнением в некоторой системе координат) – это геометрическое место всех точек плоскости, координаты которых удовлетворяют этому уравнению.

Линия (2), в пространственной аналитической геометрии – это пересечение двух поверхностей.

Кривая линия – это множество точек пространства, координаты которых являются функциями одной переменной.

Плоская кривая – траектория движения точки в плоскости (точка движется по касательной к кривой линии, обкатывая эту кривую без скольжения).

Пространственная кривая – кривая двоякой кривизны, кривая, точки которой не лежат в одной плоскости. Пространственная кривая может быть задана в декартовых координатах в одной из следующих форм: $F(x, y, z) = 0$, $\Phi(x, y, z) = 0$ (пересечение двух поверхностей); $x = j(t)$, $y = y(t)$, $z = c(t)$ (параметрическая форма).

Алгебраическая кривая n -го порядка – кривая линия, представленная в декартовых координатах уравнением n -й степени.

Нормаль n в точке A кривой линии – перпендикуляр к касательной в этой точке.

Кривизна кривой – угол α (угол смежности) между касательными в двух бесконечно близких точках кривой, отнесенный к длине дуги между этими точками, определяет степень искривленности кривой линии. Центр соприкасающейся окружности называется центром кривизны кривой в данной точке, а радиус такой окружности – радиусом кривизны кривой линии в данной точке.

Поверхность. Понятие «поверхность» определяется различными способами, чаще всего как множество точек, удовлетворяющих некоторым условиям. Например, поверхность шара – множество точек, отстоящих на заданном расстоянии от данной точки. В этом определении понятие «поверхность» лишь поясняется, а не определяется. Например, говорят, что поверхность есть граница тела или след движущейся линии. Существует и понятие «простой поверхности» – как куска плоскости, подвергнутого непрерывным деформациям (растяжениям, сжатиям и изгибаниям).

Алгебраические поверхности – поверхности, определяемые по отношению к декартовым прямоугольным координатам алгебраическими уравнениями.

Касательная к поверхности плоскость в точке A – геометрическое место касательных векторов к кривым, лежащим на поверхности и проходящим через эту точку.

Нормаль к поверхности – перпендикуляр N к касательной плоскости в точке касания ее с поверхностью.

Нормальное сечение – след пересечения поверхности с плоскостью, проходящей через нормаль к поверхности.

Кривизна нормального сечения – функция угла между нормальным сечением (плоскостью) и некоторым лучом, лежащим в касательной плоскости.

Кривизна (матем.) – величина, характеризующая отклонение кривой (поверхности) от прямой (плоскости). Отклонение дуги MN кривой L от касательной MP в точке M можно охарактеризовать с помощью т. н. средней кривизны K_{cp} этой дуги, равной отношению величины ее угла между касательными в точках M и N к длине Ds дуги MN .

Главные кривизны. Нормальные сечения поверхности, соответствующие двум ортогональным направлениям, проходящим через точку касания, называются главными, а кривизны этих сечений в точке касания называются главными кривизнами.

Гауссова кривизна поверхности. Полная или гауссова кривизна – одна из мер искривления поверхности в окрестности какой-либо ее точки, равная произведению главных кривизн. Для плоскости (а также для любой развешивающейся линейчатой поверхности) она обращается в нуль. Для сферы она постоянна и равна обратной величине квадрата радиуса сферы. В случае поверхности, имеющей вид автомобильной шины (тор), полная кривизна отрицательна в точках, прилегающих к колесу, и положительна в наружных точках. Полная кривизна остается неизменной при изгибании поверхности, т.е. при такой ее деформации, при которой длины линий на поверхности не изменяются.

Плоскость – поверхность первого порядка.

Теория поверхностей – раздел дифференциальной геометрии, в котором изучаются свойства поверхностей. В классической теории поверхностей рассматриваются свойства поверхностей, неизменные при движениях. Одна из основных задач классической теории поверхностей – задача измерений на поверхности. Совокупность фактов, получаемых при помощи измерений на поверхности, составляет внутреннюю геометрию поверхности. К внутренней геометрии поверхности относятся такие понятия, как длина линии, угол между двумя направлениями, площадь области, а также геодезические линии, геодезическая кривизна линии и др.

Б. Архитектуры

Арка (от лат. arcus – дуга, изгиб) – криволинейное перекрытие проема в стене или пространства между двумя опорами. В зависимости от размера пролета, нагрузки и назначения арки выполняются из камня, железобетона, металла и дерева. Арки впервые появились в архитектуре Древнего Востока, получили широкое распространение в архитектуре Древнего Рима.

Артефакт (от лат. artefactum – искусственно сделанное) – искусственный предмет, которого не могла бы создать природа без человеческих рук.

Архитектура (лат. architectura, от греч. architekton – строительное искусство, зодчество) – многогранное искусство создавать материально организованную среду для жизни и деятельности людей. Ее произведения – здания, сооружения, города и в целом – среда обитания человека.

Архитектоника (от греч. architektonike – строительное искусство) – художественное выражение закономерностей строения конструктивных систем зданий и сооружений. Архитектоника выявляется во взаимосвязи и взаиморасположении несущих и ограждающих частей, в ритмичном строе форм, делающем наглядными статические усилия в конструкции. В более широком смысле архитектоника – композиционное строение любого произведения искусства, обуславливающее соотношение его главных и второстепенных элементов.

Архитектурная бионика – направление в архитектуре, основывающееся на аналогиях архитектуры и живой природы. Основное значение в этом направлении имеют функционально-утилитарные связи.

Архитектурная форма – организация пространства и материальных структур объекта (здание, сооружение, группа построек), обеспечивающая необходимые физические качества окружения и целесообразную упорядоченность определенного комплекса процессов жизнедеятельности, выражающая при этом информацию об этих процессах и связанных с ними знаниях.

Архитектурная форма (по А.В. Иконникову) – «подобно замковому камню арки, объединяет рационально-практические аспекты архитектурной деятельности и создание художественно-эстетических ценностей, научное знание и искусство».

Архитектурно-бионическая форма (также структура и конструкция) – архитектурная форма, в которой нашел отражение творческий процесс использования законов формообразования живой природы.

Бионические архитектурно-строительные системы – системы, запроектированные и реализованные в результате синтеза биологии и техники.

Динамичная архитектура – архитектура, использующая в своей практике свойства движения, изменения формы, конфигурации.

Конструктивные формы природы (архитектоника живого мира) – формы, в которых нашли свое отражение конструктивные свойства организмов и растений, например, стебель растения, панцирь черепахи, скорлупа ореха и т.д.

Свод – пространственная конструкция перекрытия или покрытия сооружений, имеющая геометрическую форму выпуклой криволинейной поверхности. Простейшим и наиболее распространенным является цилиндрический свод, опирающийся на параллельно расположенные опоры (стены, ряды столбов, аркады и т.п.). В поперечном сечении свод представляет собой часть окружности, эллипса, параболы и др. Два цилиндрических свода одинаковой высоты, пересекающиеся под прямым углом, образуют крестовый свод. Части цилиндрического свода – лотки, или щеки, опирающиеся по всему периметру перекрываемого сооружения на стены (или арки, балки), образуют сомкнутый свод. Зеркальный свод отличается от сомкнутого тем, что его верхняя часть (плафон) представляет собой плоскую плиту. Производной от свода конструкцией является купол. Отсечением вертикальными плоскостями частей сферической поверхности купола образуется купольный (парусный) свод. В зависимости от вида кривых их сечений, количества и формы распалубок и пр., различают своды стрельчатые, ползучие, бочарные, сотовые и др. Свод, подобно арке, работает преимущественно на сжатие, передавая на опоры вертикальные усилия. В некоторых типах сводов возникают также горизонтальные усилия распора.

Купол (итал. cupola – купол, свод, от лат. cupula; уменьшительное от сира – бочка) – пространственное покрытие (свод) здания двоякой кривизны, близкое по форме к полусфере. Формы купола образуются различными выпуклыми кривыми. В куполе обычно возникают как вертикальные сжимающие, так и горизонтальные усилия (распор), которые передаются на поддерживающую его конструкцию или воспринимаются нижним (опорным) кольцом самого купола. Если куполом завершается прямоугольная в плане ячейка здания, переход от квадрата к круглому (или эллиптическому) основанию купола решается с помощью специальных сводов – парусов, или тромпов. В зависимости от конструктивного решения пролетной части купола бывают гладкие, ребристые, ребристо-кольцевые, сетчатые и др.

Тектоника – соотношение несущих и несомых частей сооружения, выраженное в пластических формах; художественное выражение закономерностей, присущих конструктивной системе здания.

Тектоника (по А.В. Иконникову) – организация целесообразной и вместе с тем выразительной конструктивной структуры, входящей в число средств формирования образа.

Тектоника (по А.К. Бурову) – пластически разработанная, художественно осмысленная конструкция.

Трансформация (лат. transformation) – 1) преобразование; 2) превращение; 3) изменение.

Форма (лат. forma) – наружный вид, внешнее очертание.

Форма (по Ф.Д.К. Чиню) – способ расположения и сочетания элементов и частей композиции, составляющих единое целое. Поскольку форма имеет смысл трехмерной объемной фигуры, то контуры служат главным определяющим аспектом формы: это конфигурация, взаимосвязанное расположение линий и очертаний фигуры и формы. Контур – это характерные очертания или конфигурация поверхности определенной формы. Он играет главную роль в восприятии и распознавании.

Функция (1) – практическое назначение здания (или его части).

Функция (2, по А.В. Иконникову) – комплекс задач, решаемых созданием архитектурного объекта, чтобы обеспечить материальные условия для осуществления определенной группы процессов жизнедеятельности и символическое выражение связанных с ним значений – практически ориентирующих, ценностных, историко-культурных, мифологических. Функция определяет цель создания объекта и содержание, которое несет его форма.

Функциональность – соответствие здания (конструкции) его практическому назначению, т.е. функциональному процессу, для которого оно предназначено.

Функциональный процесс – процесс деятельности людей (труд, отдых, учеба и пр.), протекающий в предназначенном для него архитектурно организованном пространстве.

В. Строительной механики и строительных конструкций

В1. Общие термины

Конструктивная система – объект (сооружение), рассматриваемый во взаимосвязи образующих его частей (конструкций).

Конструктивная схема – принципиальное решение основных конструкций здания, их расположение и взаимосвязи.

Конструктивная форма – техническая характеристика, описывающая основные параметры конструкции: ее форму (геометрию); принадлежность к определенному классу и т.д.

Несущая способность – максимальная нагрузка, которую могут нести строительные конструкции, их элементы, а также грунты оснований без потери их функциональных качеств.

Несущие конструкции (системы) – конструктивные элементы, воспринимающие основные нагрузки на здания и сооружения (напор ветра, вес снега, находящийся в здании людей, оборудование, давление грунта на подземные части здания и т.п.). По характеру внутренних усилий различают несущие конструкции, работающие в основном на сжатие (колонны, отдельные опоры, фундаменты, стены и др.); работающие преимущественно на изгиб (панели и балки перекрытий, стропильные и мостовые фермы, ригели рам и др.); работающие в основном на растяжение (мембраны, ванты, подвески, оттяжки и т.д.).

В зависимости от геометрической формы несущие конструкции разделяют на линейные (балки, колонны); плоскостные (плиты, панели, настилы) и пространственные (оболочки, своды, объемные элементы).

Несущие конструкции в совокупности образуют несущий остов здания (сооружения), который должен обеспечивать его пространственную

неизменяемость, прочность, жесткость и устойчивость.

Плоская система – система конструкций, в которой оси симметрии всех элементов и линии действия внешних сил находятся в одной плоскости. В зданиях и сооружениях плоские системы (конструкции), как правило, пространственно связаны между собой. Однако для упрощения инженерных расчетов многие сооружения рассматривают как совокупность отдельных плоских систем. Например, каркас промышленного или общественного здания, представляющий собой пространственную систему, при расчете заменяют системой плоских рам. Аналогичное расчленение на плоские системы делается при расчете ферм.

Пространственная система (ПС) – система несущих конструкций сооружения (ее расчетная схема), характеризующаяся пространственным распределением усилий в ее элементах. ПС может быть образована из отдельных, соединенных между собой линейных или плоских элементов, способных воспринимать приложенную к ним пространственную систему внешних сил. В зависимости от конструктивных особенностей и характера возникающего в ПС напряженного состояния они подразделяются на стержневые, тонкостенные, массивные и комбинированные.

Стержневые пространственные системы – несущие конструкции, образуемые совокупностью соединенных между собой элементов – стержней. В виде стержневых пространственных систем часто выполняются сооружения башенного типа (башни, опоры линий электропередачи и др.), а также несущие конструкции покрытий и перекрытий, так называемые структурные плиты.

Тонкостенные пространственные системы (ТПС) – конструкции, у которых один из размеров (толщина) значительно меньше двух других. ТПС широко используются в технике и строительстве в виде оболочек, сводов, шатров, призматических складчатых систем, листовых конструкций (труб, резервуаров, газгольдеров) и др. Применение тонкостенных ПС дает возможность существенно снизить расход материалов и массу несущих конструкций.

Комбинированные пространственные системы представляют собой сочетания различных пространственных систем, например стержневых с тонкостенными, тонкостенных с массивными и т.д.

Синтез (гр. *synthesis* – соединение, сочетание, составление) – метод изучения предмета в его целостности, в единстве и взаимодействии составляющих его частей. Синтез тесно связан с другим методом познания – анализом.

В2. Оболочки и складки

Оболочка – тело, ограниченное двумя поверхностями, расстояние между которыми мало по сравнению с остальными его размерами.

Срединная поверхность оболочки – геометрическое место точек в плите оболочки или складки, равноудаленных от ее наружной и внутренней поверхностей.

Оболочка положительной (отрицательной, нулевой) гауссовой кривизны – оболочка, срединная поверхность которой имеет в каждой точке положительное (отрицательное, нулевое) значение произведения ее главных кривизн.

Складка – оболочка, составленная из пластинок, срединная поверхность которой разворачивается на плоскости.

Складками и шатрами называют конструкции (оболочки), образованные из соединенных между собой и образующих поверхность многогранника пластинок-граней. Складка из прямоугольных пластинок называется призматической. Балочные складки состоят из плоских элементов-граней, соединенных между собой под углом так, что в месте их сопряжения образуется прямолинейное ребро.

Пластинка – тело, ограниченное двумя плоскостями, расстояние между которыми мало по сравнению с другими размерами.

Пологая оболочка – оболочка, у которой угол между касательными плоскостями, проходящими через любые две точки срединной поверхности, достаточно мал.

Тонкая оболочка – оболочка с небольшим по сравнению с единицей отношением толщины к наименьшему радиусу кривизны (или другому характерному размеру).

Гибкая оболочка – оболочка, при расчете которой требуется учитывать изменение первоначальной формы ее поверхности.

Рёбристая оболочка – оболочка, подкрепленная ребрами в одном или нескольких направлениях.

Пневматическая оболочка – оболочка, изготовленная из мягких воздухонепроницаемых материалов, способная воспринимать внешние нагрузки за счет создаваемого внутри избыточного давления воздуха (газа).

Мягкая оболочка – тонкая оболочка, способная воспринимать только растягивающие напряжения.

Цилиндрический свод – незамкнутая цилиндрическая оболочка, опирающаяся только по продольным краям.

Свод-оболочка – незамкнутая цилиндрическая оболочка, опирающаяся на поперечные диафрагмы.

Пролет оболочки – один из характерных размеров оболочки в плане. В своде-оболочке – расстояние между опорными краями по образующей; в оболочках вращения – по диаметру опорного края.

Стрела подъема оболочки – наибольшее возвышение срединной поверхности незамкнутой оболочки над плоскостью опорного контура.

Толщина оболочки – расстояние между наружной и внутренней поверхностями оболочки по нормали к срединной поверхности.

Главные радиусы кривизны – в произвольной точке срединной поверхности экстремальные значения радиусов кривизны нормальных сечений.

В3. Системы регулярной структуры

Система регулярной структуры (СРС) – несущая конструкция здания или сооружения, образуемая повторяющимися однотипными ячейками из стержневых или пластинчатых элементов. В зависимости от формы и характера статической работы СРС могут быть выполнены в виде плит, складок, оболочек (сводов, куполов), а также использоваться в качестве элементов комбинированных систем (конструкций).

Система регулярной структуры стержневая – несущая конструкция, образуемая совокупностью соединенных между собой элементов (стержней), у которых один из размеров (длина) значительно больше двух других. В виде стержневых пространственных систем часто выполняются сооружения башенного типа (башни, опоры линий электропередачи и др.), а также несущие конструкции покрытий и перекрытий, так называемые структурные плиты.

Алексей Петрович Морозов (1907-1987)



Академик академии строительства и архитектуры, лауреат Государственной премии СССР, создатель и руководитель ленинградской школы инженеров — творцов большепролетных конструкций.

В 1934 году окончил Ленинградский инженерно-строительный институт, где его учителем был профессор, руководитель кафедры «Инженерные конструкции» Н. Н. Аистов. В 1936 году А.П. Морозов выполнил свою первую крупную работу — запроектировал бункер длиной более 300 м для Балхашского медеплавильного завода.

В годы Великой Отечественной войны молодой, но уже опытный инженер строил оборонительные сооружения Ленинграда.

В послевоенные годы А.П. Морозов — руководитель сектора, а затем главный конструктор ПИ-1.

Одна из интереснейших страниц в творчестве Алексея Петровича (1951-1952) — участие в проектировании высотной гостиницы «Ленинградская» на Комсомольской площади в Москве, где он выполнил сложные расчеты металлического каркаса этого высотного здания.

В 1956 г. он избирается академиком (действительным членом) Ленинградского филиала Академии строительства и архитектуры. Гармоничное сочетание проектно-строительной и научной работы было для него совершенно необходимым, и этим качеством Морозов напоминал крупных русских инженеров XIX — начала XX века.

Творческие биографии А.П. Морозова и его учеников (Ю. А. Елисеева, О. А. Курбатова, Б.А.Миронкова, А.В.Шапиро и др.) тесно связаны с созданием в 1963 году Ленинградского зональ-

ного научно-исследовательского и проектного института типового и экспериментального проектирования жилых и общественных зданий (ЛенЗНИИЭПа). В этом институте под руководством А. П. Морозова создается Специальный конструкторский отдел (СКО), сотрудники которого, совмещая в себе инженеров-практиков и ученых, сыграли выдающуюся роль в проектировании и строительстве многих уникальных по тем временам зданий не только в Ленинграде, но и в других городах и странах. Самые известные — Дворец спорта «Юбилейный», который в зависимости от трансформации может вмещать от 6500 до 10000 зрителей, универсальный спортивно-концертный комплекс (СКК) на 25 тыс. зрителей на проспекте Юрия Гагарина в Московском районе, рынок в Ульяновске, Дворец спорта в Зуле (Германия) и др. В 1971 году авторы Дворца спорта «Юбилейный», в том числе и А.П.Морозов, были удостоены Государственной премии СССР.

Алексей Петрович Морозов был не только выдающимся инженером, но и замечательным спортсменом (в предвоенные годы ленинградцы хорошо знали баскетболиста, мастера спорта, чемпиона страны Алексея Морозова, вскоре ставшего одним из лучших теннисистов города). Он был разносторонне развитой личностью, любил искусство, литературу, философию, историю, не был чужд политике. Взгляды и суждения его всегда были свежими, острыми. С ним было очень интересно общаться и работать!

Свет личности Алексея Петровича Морозова сохранился не только в прекрасных объектах, но и в его многочисленных учениках.

При подготовке биографических справок использованы материалы из личного архива автора и статьи д.т.н., проф. Н.Н. Никонова.

**Виктор Иванович
Трофимов**
(1913 – 2004)



Почетный академик Академии архитектуры и строительства России Виктор Иванович Трофимов был широко известен как крупный ученый и изобретатель в области металлических конструкций. На протяжении многих лет он возглавлял российскую школу по исследованиям и разработке новых видов стальных и алюминиевых конструкций различного назначения.

Более 60 лет отдал он любимому делу. После окончания Московского архитектурно-строительного техникума Виктор Иванович начал работать техником-конструктором Гипроспецхима. Московский институт коммунального строительства он окончил в первые дни Великой Отечественной войны (июль 1941 г.) и уже в августе был призван в армию. В октябре 1943 года после тяжелого ранения демобилизован. За участие в боевых действиях В.И.Трофимов награжден орденами Отечественной войны I и II степеней, Красной Звезды и пятью медалями.

С 1944 по 1949 год В.И.Трофимов работал в "Союзстройпроекте" на должности инженера-конструктора. В 1950 году поступил в аспирантуру ЦНИИСК (ЦНИИПС). С той поры деятельность В.И.Трофимова была связана с ЦНИИСК имени Кучеренко. Здесь он в 1952 году защитил кандидатскую, а в 1965 году — докторскую диссертацию. Последние 20 лет своей жизни Виктор Иванович возглавлял лабораторию металлических конструкций ЦНИИСК.

Наиболее ярко талант В.И.Трофимова как исследователя, конструктора и организатора работы большого научного коллектива проявился в 70 - 80-е годы. В первой половине 70-х годов его идеи реализуются при сооружении висячих мембранных покрытий двух крупных сооружений:

плавательного бассейна в г. Харьков и Дворца спорта в городе Фрунзе. Эти сооружения явились прелюдией к возведению объектов Олимпиады-80 в Москве, четыре из которых — Универсальный крытый стадион "Олимпийский" и Плавательный бассейн на проспекте Мира, Крытый велотрек в Крылатском и Дворец спорта в Измайлово можно назвать бенефисом В.И.Трофимова.

Широта научных интересов В.И.Трофимова очень многогранна: структурные плиты покрытий и облегченные рамные конструкции, мембранные и ленточные оболочки, несущие конструкции, работающие совместно с ограждением, металлические зернохранилища мембранно-каркасного типа — вот далеко не полный перечень его разработок. При этом, принимаясь за разработку конструкции, он всегда предвидел практический результат.

Заслуженным деятелем науки и техники России, лауреатом премии Совета Министров СССР, дважды лауреатом Государственной премии СССР, кавалером орденов Трудового Красного Знамени и "Знак Почета" В.И.Трофимовым опубликовано более 150 научных работ и 5 монографий, получено более 60 авторских свидетельств СССР, России и других стран.

Особо следует отметить педагогический талант В.И.Трофимова — из-под его крыла вышло 42 кандидата и несколько докторов технических наук.

Виктор Иванович был разносторонней и увлекающейся натурой. Ценитель, знаток и коллекционер живописи и предметов старины, любитель природы и неутомимый путешественник, почитатель хорошей компании — он исповедовал кредо богато одаренных людей: работать, чтобы жить, и жить, чтобы работать.



**Борис Анатольевич
Миронков**
(1933 – 2004)

Крупный инженер-конструктор, кандидат технических наук (1966), лауреат Государственной премии (1986) и премии Совета Министров СССР (1980), специалист по разработке и проектированию новых типов пространственных конструкций, один из учеников и соратников академика А. П. Морозова.

В 1951–1956 г. г. Б.А. Миронков — студент Ленинградского института инженеров железнодорожного транспорта им. В. Н. Образцова. Трудовую деятельность Б.А. Миронков начал в Ленинградском филиале Академии строительства и архитектуры в 1956 году. После создания в 1963 году Ленинградского зонального научно-исследовательского и проектного института типового и экспериментального проектирования жилых и общественных зданий (ЛенЗНИИЭПа) был назначен на должность Главного конструктора отдела пространственных конструкций, где и проработал до последних дней жизни. Он был одним из первых в СССР разработчиков конструкций из армоцемента. Под его руководством созданы водозащитные зонты из армоцементных элементов машинного изготовления для станций и эскалаторных ходов ленинградского метрополитена — «Рыбацкое», «Приморская», «Пионерская», «Удельная», «Черная речка». Эти разработки стали подлинным синтезом искусства и техники, архитектурного замысла и конструктивного воплощения. Выразительность интерьеров подобных сооружений несомненна, а возможности для создания разнообразных решений значительны.

Б.А. Миронков принимал непосредственное участие в проектировании и возведении покрытий Дворца спорта «Юбилейный», легкоатлетического манежа ДСО «Зенит», крытого хоккейного стадиона СКА, кинотеатра «Буревестник», торгового центра в Омске, рынка в г. Сумы, крытых теннисных кортов в Минске и многих других объектов.

Большой интерес представляют разработанные под руководством Бориса Анатольевича типовые покрытия для общественных зданий в виде складов, сводов, плит регулярной структуры из армоцемента и железобетона. Только в Псковской области было возведено более 900 универсальных зданий из армоцементных элементов (склады, производственные цеха и др.).

Б.А. Миронков был заведующим базовой кафедрой железобетонных конструкций Ленинградского инженерно-строительного института при ЛенЗНИИЭПе. Он — автор многих научных трудов, изобретений, конкурсных проектов. В его многообразной творческой деятельности всегда присутствовал сплав архитектуры и инженерного искусства.

Круг интересов Б.А. Миронкова не ограничивался инженерной и научной деятельностью. Он был председателем секции Координационного совета по пространственным конструкциям Госгражданстроя по Средней Азии и Казахстану, членом секции кинокритики отделения Союза кинематографистов Петербурга, писал оригинальные статьи, увлекался коллекционированием марок.

**Виктор Борисович
Микулин
(1937-2003)**



Кандидат технических наук, ст. научный сотрудник, заслуженный строитель России, лауреат Премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, ученик и соратник В.И. Трофимова.

Родился в Москве. После окончания школы работал в проектно-институте Моспроект, потом служил в армии картографом. С 1959 по 1964 год учился в МИСИ им. В.В. Куйбышева на факультете ПГС. Во время учебы принимал участие в студенческих научных конференциях.

После окончания института был направлен на работу в отдел «Металлические конструкции» ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР, где и проработал до последнего дня своей трудовой деятельности. К моменту защиты кандидатской диссертации (1978 г.) у В.Б. Микулина был накоплен большой опыт разработки, исследований и внедрения в практику отечественного строительства новых типов большепролетных пространственных покрытий в виде цилиндрических мембран. Наиболее значимые объекты с их применением – это плавательный бассейн в Харькове и Дворец спорта во Фрунзе.

Наиболее ярко его талант инженера-исследователя раскрылся в период подготовки и проведения Олимпиады-80 в Москве. Один из наиболее значимых спортивных объектов олимпиады – Дворец спорта в Измайлово был спроектирован и построен при непосредственном участии В.Б. Микулина. В покрытии этого здания впервые применены так называемые «лучевые» мембраны.

В.Б. Микулиным разработаны и успешно применены новые методы изготовления и монтажа конструкций мембранных покрытий. В частности, монтаж цилиндрических покрытий плавательного бассейна и Дворца спорта производился из большеразмерных полотнищ, изготовленных на

специализированных заводах (что обеспечивало контроль качества сварных швов), а для покрытия Дворца спорта «Измайлово» было предложено оригинальное решение – собирать покрытие на уровне земли и потом устанавливать в проектное положение.

В.Б. Микулиным на основании собственного многолетнего опыта сформулирован принцип «мониторинга» уникальных объектов, т.е. научного сопровождения процесса строительства, начиная с самых первых стадий (проектирования, исследований и пр.), затем процесса монтажа и заканчивая контролем за поведением конструкций в период их эксплуатации.

В последние годы жизни В.Б. Микулин принимал участие в проектировании, монтаже и мониторинге покрытия большой спортивной арены стадиона «Лужники». Уникальное по своим размерам покрытие (247,8x308,6 м) возводилось над существующей ареной, что, конечно же, привело к необходимости разработки нестандартных инженерных решений как по конструкции покрытия, так и по его устройству. Именно здесь отрабатывался предложенный Виктором Борисовичем процесс «мониторинга».

Результаты исследований В.Б. Микулина нашли отражение в ряде монографий, нормативных документов и справочников («Большепролетные пространственные покрытия из тонколистового алюминия» (1975); «Мембранные конструкции зданий и сооружений: Справ. пособие (1990); «Легкие металлические конструкции зданий и сооружений» (2002) и др.).

В.Б. Микулин был неординарной личностью. Он профессионально занимался спортивной рыбалкой, был заядлым охотником, собирал редкие книги, любил природу – отпуск проводил исключительно на рыбалке или охоте.



Об авторе

Семенов Владимир Сергеевич родился 18 ноября 1947 года в г. Фрунзе в семье потомственных инженеров. В 1970 г. с отличием закончил строительный факультет Фрунзенского политехнического института по специальности «Промышленное и гражданское строительство».

В 1970–1973 гг. – ассистент кафедры «Архитектура промышленных и гражданских зданий» ФПИ, 1973–1976 гг. – аспирант ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, г. Москва.

В 1977 году В.С. Семенов защищает диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук и направляется на работу в лабораторию сейсмостойкого строительства ЦНИИСК в г. Фрунзе.

С 1981 года – руководитель сектора Научно-исследовательского института строительства и архитектуры (НИИСА) Госстроя Киргизской ССР. В 1988 году В.С. Семенов возвращается на преподавательскую работу во Фрунзенский политехнический институт (сейчас Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры – КГУСТА).

С 1958 года активно занимается теннисом. Неоднократный чемпион Киргизии, мастер спорта СССР (1967 год) и Кыргызской Республики по теннису.

В.С. Семенов – автор 7 авторских свидетельств на изобретения в области строительства. Им опубликовано более 80 научных статей, монографий, учебных и справочных пособий. В том числе: «Антисейсмические мероприятия и контроль качества строительно-монтажных работ» (1988); «Покрытия сельскохозяйственных зданий из шпренгельных элементов» (1993), «Эффективные пространственные конструкции покрытий в практике проектирования и строительства Кыргызстана» (2004), «Основы расчета стальных строительных конструкций» (2007), «Расчет и конструирование соединений стальных строительных конструкций» (2008).

В 2000–2004 гг. вышли в свет две научно-популярные книги В.С. Семенова из серии «Маленькие секреты большого тенниса».

В 2006 году В.С. Семенов защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук.

В настоящее время В.С. Семенов – и.о. профессора кафедры «Дизайн архитектурной среды» КРСУ. По совместительству работает профессором кафедры металлических и полимерных конструкций КГУСТА.

Владимир Сергеевич Семенов

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ:

СИНТЕЗ ИСКУССТВА, ТЕХНИКИ И НАУКИ

Учебное пособие

Редактор И.С. Волоскова

Дизайн обложки и верстка А. Кивачицкая, В.С. Семенов

Подписано в печать 03.03.10

Формат 60x84^{1/8}. Объем 16,25 п.л.

Печать ризография. Бумага офсетная

Тираж 100 экз. Заказ 46

Издательство Кыргызско-российского славянского университета
720000, г. Бишкек, ул. Киевская, 64

Отпечатано в типографии «ДЭМИ»
г. Бишкек, ул. Кулатова, 1/3

Для дизайна обложки использованы фотографии стадиона "Птичье гнездо" в Пекине