

Лекция 1. Общие принципы проектирования общественных зданий

Здание – результат строительной деятельности, предназначенный для проживания и (или) деятельности людей, размещения производства, хранения продукции или содержания животных (по ГОСТ 27751-2014).

Для понимания места общественных зданий рассмотрим классификацию всех зданий по назначению:

1) гражданские (для проживания и обеспечения бытовых, общественных и культурных потребностей человека).

Гражданские здания в свою очередь подразделяются на две подгруппы:

- жилые (многоквартирные многоэтажные и малоэтажные дома, общежития и гостиницы, многоквартирные дома усадебного типа, интернаты, временные жилища на стройках и разработках);

- **общественные** (здания учебно-воспитательных и научных учреждений, зрелищные, административные здания, здания лечебных учреждений, здания коммунально-бытового назначения, рестораны, кафе и другие предприятия общественного питания и торговли и т. п.).

2) производственные (для обеспечения нормальных условий производственных процессов, для защиты оборудования и работающих на производстве людей от атмосферных воздействий и для обеспечения необходимых комфортных условий работы трудящихся на производстве).

3) складские здания (здания, предназначенные для хранения веществ, материалов, продукции и сырья);

4) здания транспортной инфраструктуры (железнодорожные вокзалы, аэропорты, автовокзалы и т.п.).

По числу пролетов (определение см. в п. 1.6) здания подразделяют на:

- однопролетные;
- многопролетные.

Здания, в которых несущие конструкции имеют опоры только по контуру, образуя внутри свободное пространство, называют **зданиями зального типа**.

Высотными зданиями общественного назначения считаются все здания выше 75 м, и с подземными этажами глубиной более 10 м от уровня земли.

Зданиями массового строительства называют такие, которые строят в большом количестве по многократно тиражированным проектам.

К уникальным зданиям (согласно Градостроительному кодексу РФ) относятся объекты капитального строительства, у которых:

- высота более чем 100 метров;
- пролеты более чем 100 метров;
- наличие консоли более чем 20 метров;
- заглубление подземной части (полностью или частично) ниже планировочной отметки земли более чем на 15 метров;

- наличие конструкций и конструкционных систем, в отношении которых применяются нестандартные методы расчета с учетом физических или геометрических нелинейных свойств либо разрабатываются специальные методы расчета.

В соответствии с Федеральным законом РФ от 30 декабря 2009 № 384-ФЗ здания и сооружения делят на три уровня ответственности:

1) повышенный уровень ответственности - здания и сооружения, отнесенные к особо опасным, технически сложным или уникальным объектам;

2) нормальный уровень ответственности - все здания и сооружения, за исключением зданий и сооружений повышенного и пониженного уровней ответственности;

3) пониженный уровень ответственности - здания и сооружения временного (сезонного) назначения, а также здания и сооружения вспомогательного использования, связанные с осуществлением строительства или реконструкции здания или сооружения либо расположенные на земельных участках, предоставленных для индивидуального жилищного строительства.

Расчетные значения усилий в элементах строительных конструкций и основании здания или сооружения должны быть определены с учетом

коэффициента надежности по ответственности, принятое значение которого не должно быть ниже:

1) 1,1 - в отношении здания и сооружения повышенного уровня ответственности;

2) 1,0 - в отношении здания и сооружения нормального уровня ответственности;

3) 0,8 - в отношении здания и сооружения пониженного уровня ответственности.

Для зданий и сооружений повышенного уровня ответственности ветровые и снеговые нагрузки рекомендуется определять на основе результатов продувки модели в аэродинамической трубе или численного моделирования. Прочностные расчеты несущих конструкций зданий и сооружений повышенного уровня ответственности следует выполнять не менее, чем по двум различным программным комплексам для повышения степени достоверности расчетов.

В зависимости от назначения, а также социальных, экологических и экономических последствий повреждений и разрушений для каждого сооружения устанавливается его класс. Различают три класса сооружений: КС-1, КС-2 и КС-3.

К классу сооружений КС-3 относят:

- здания и сооружения особо опасных, технически сложных и уникальных объектов (см. выше в п. 1.1);

- сооружения, при проектировании и строительстве которых используются принципиально новые конструктивные решения и технологии, которые не прошли проверку в практике строительства и эксплуатации на территории РФ;

- объекты жизнеобеспечения городов и населенных пунктов;

- здания основных музеев, государственных архивов, административных органов управления; здания хранилищ национальных и культурных ценностей;

- зрелищные и спортивные объекты, торговые предприятия с массовым нахождением людей;

- тоннели, трубопроводы.

К классу сооружений КС-2 относят:

- здания и сооружения, не вошедшие в классы КС-1 и КС-3;

- мостовые сооружения с пролетом менее 200 м.

Класс сооружений КС-1 включает:

- здания и сооружения временного (сезонного) назначения; вспомогательного использования; здания или сооружения, связанные с осуществлением строительства или реконструкции; расположенные на земельных участках, предоставленных для индивидуального жилищного строительства;

- теплицы, парники, мобильные здания, склады временного содержания;

- сооружения с ограниченными сроками службы и пребыванием в них людей.

В зависимости от класса, уровня ответственности, назначения, высоты и других параметров зданий и сооружений решается вопрос о величинах расчетных нагрузок и производится расчет всей конструктивной системы и ее отдельных частей.

По назначению все **общественные здания** можно разделить на учебные заведения, культурные, зрелищные, лечебные, религиозные, спортивные здания, предприятия общественного питания и торговли и здания объектов по обслуживанию общества и государства (рис. 1).

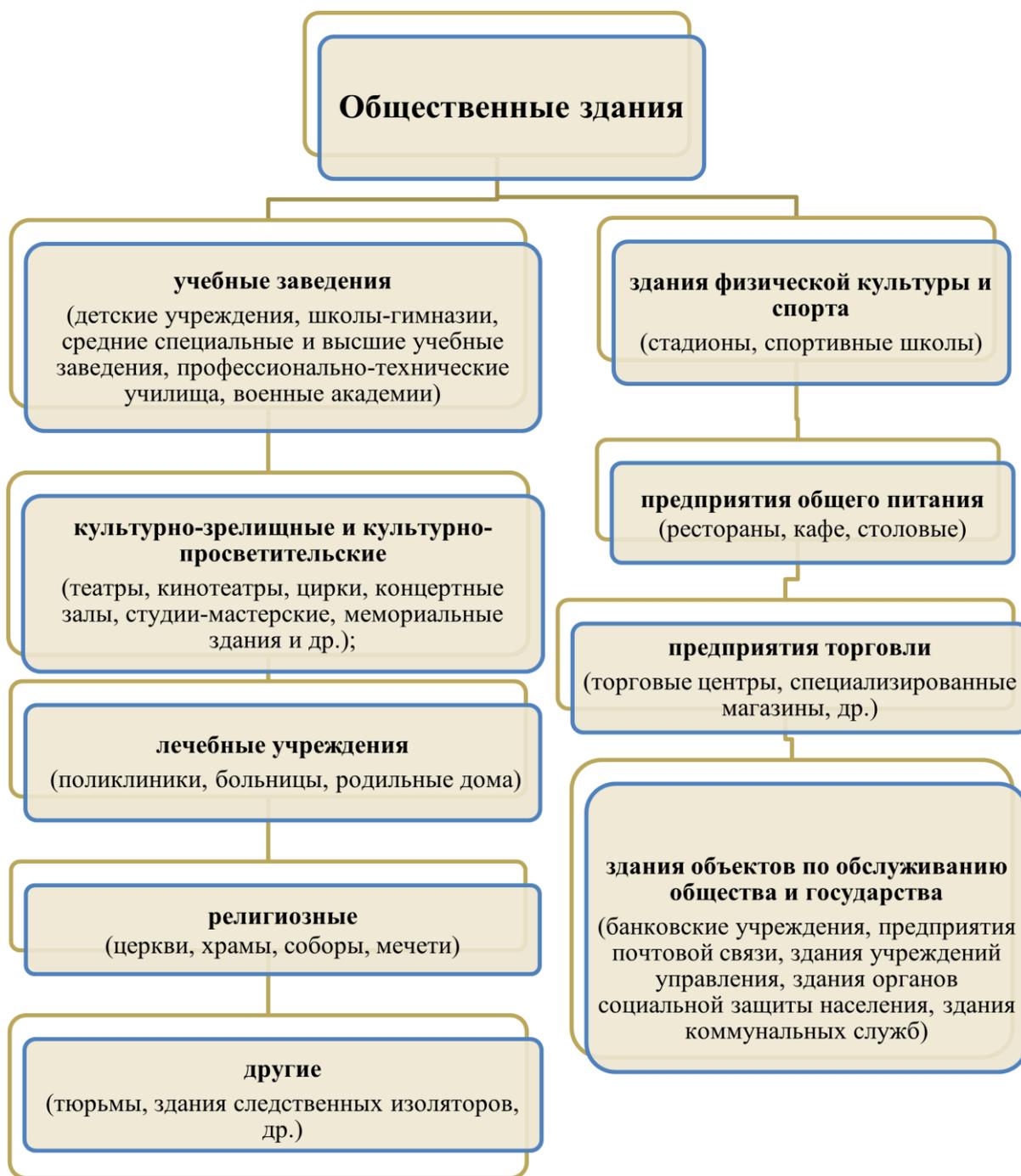


Рис. 1. Классификация общественных зданий по назначению

Академик А. В. Иконников, рассматривая в своих работах проблемы взаимосвязи архитектурной формы, функции и архитектурного пространства, определял суть понятия «функция» следующим образом: «Функция — комплекс задач, решаемых созданием архитектурного объекта, чтобы обеспечить материальные условия для осуществления определенной группы процессов жизнедеятельности и символическое выражение связанных с ними значений —

практически ориентирующих, ценностных, историко-культурных, мифологических. Функция определяет цель создания объекта и содержание, которое несет его форма. Конкретность функции задается местом объекта в контекстах культуры и систем жизнедеятельности общества. Как и эти контексты, функция неустойчива, изменчива, многообразна в своих проявлениях. Вместе с тем, в ее структуре есть относительно стабильный слой типического, обусловленный константами биологических потребностей человека, устойчивыми категориями социального и бытового назначения, архетипами символических значений, а также преемственностью культуры, ее традициями и обычаями».

Для общественных зданий различают общие и специфические функциональные процессы.

Общие процессы характерны для большинства зданий. К ним предъявляются требования:

- 1) организации движения людских потоков;
- 2) обеспечения достаточной площади и объема;
- 3) обеспечения благоприятных условий видимости и зрительного восприятия;

обеспечение режимов:

- 4) светового,
- 5) акустического,
- 6) инсоляционного;
- 7) температурного.

Специфические процессы характерны для особой деятельности людей. Например: лечебно-оздоровительная, учебно-воспитательная и т.д.

В одном здании, как правило, один или два основных функциональных процессов и несколько вспомогательных.

Например, школа: основной функциональный процесс – учебный; вспомогательные – питание, лечение и др.

Для ресторанов, кафе параллельно идут два основных процесса:

- производственный – приготовление пищи, прием продуктов, сортировка, распределение по кладовым и холодильным камерам, заготовка, варка, выдача, мытье посуды, удаление отходов;

- обслуживание посетителей.

Функциональная схема – показывает состав и взаимосвязь помещений. Состав помещений, как правило, показывается в прямоугольнике, а взаимосвязь помещений – прямыми и стрелками. В некоторых случаях возможно наложение помещений, если одно находится в объеме другого или они имеют общие площади (например, кухня-столовая, кухня в составе общей комнаты и т.п.).

Функциональные процессы в основном определяют общую композиционную схему здания. В зависимости от характера процесса бывают **основными, вспомогательными и обслуживающими**.

Основные помещения характеризуют процессы, определяющие основное назначение общественных зданий. **Вспомогательные помещения** – это те, которые необходимы для обеспечения выполнения основных процессов, проходящих в общественных зданиях, но не определяют их функциональное назначение (фойе, кулуары).

Обслуживающие помещения – не имеют непосредственного отношения к выполняемому в здании основному функциональному процессу, но необходимы в соответствии с требованиями санитарии, гигиены и комфорта (санузлы, буфеты, пр.).

Коммуникационные помещения – при их проектировании приходится учитывать людские потоки, реже грузовые (коридоры, галереи, соединительные переходы, обеспечивающие горизонтальное перемещение и связь между помещениями в пределах данного этажа; лестниц, пандусы, эскалаторы и др.; входные или коммуникационные узлы – тамбуры, вестибюли, в которых пересекаются горизонтальные и вертикальные коммуникации).

Состав помещений и их площади определяются в соответствии с технологией функциональных процессов соответствующих типов общественных зданий и в соответствии с расчетными нормами. Во всех зданиях этих типов предусматривают четыре группы помещений: рабочие помещения основного назначения, вспомогательные, обслуживающие и технические.

Рабочие помещения основного назначения: кабинеты руководства, рабочие помещения основных отраслевых отделов (лабораторий, проектных мастерских, секторов) и неотраслевых (функциональных) отделов: бухгалтерии, труда и заработной платы, кадров и т. д.

Вспомогательные подразделения содержат помещения конференц-зала, библиотеки, архива, копировально-множительной и вычислительной техники, экспедиции.

Обслуживающие помещения состоят из вестибюля с гардеробами, помещений общественного питания, медицинского пункта, санитарных узлов, мастерских по ремонту мебели и оборудования, макетных мастерских, складов инвентаря и пр.

К **техническим помещениям** и устройствам относят тепловой узел, вентиляционные камеры, машинные отделения лифтов, мусоросборники, гаражи и пр.

Тамбуры предназначаются для тепловой защиты вестибюля. Тамбуры различают встроенные или в виде пристроек. Минимальная глубина составляет 1,2м; по требованиям эвакуации все двери открываются наружу; перед входом в здание необходима площадка, устроенная таким образом, чтобы отметка пола помещений у входа была выше отметки тротуара перед входом не менее чем на 15см.

Вестибюли – это основное распределительное помещение. Бывают главные и служебные. Планировка, архитектурно-пространственное решение, количество и взаимное расположение вестибюлей зависит от типологической

принадлежности здания и его вместимости. Вестибюльную группу следует располагать равноудаленной от основных групп помещений.

Гардеробные составляют органическую часть вестибюля. Их расположение бывает одностороннее, двухстороннее или островное.

Глубина гардербных должна составлять не более 6м, их площадь - 0,08м² на 1 место. Ширина барьера для выдачи одежды - 0,6 - 0,7м. Длина барьера устанавливается из расчета 1 погонный метр барьера на 30 мест, в зданиях с немассовым потоком 1 погонный метр на 50 мест. Перед фронтом барьера должно оставаться 3-4м.

Санитарные узлы включают: уборные, умывальные, в некоторых случаях (в зависимости от назначения и функций здания) душевые, ванны.

Санитарные узлы классифицируются по двум типам по характеру эксплуатации:

- равномерно используемые в течение всего времени (административные здания, больницы, выставочные залы и т. д.); располагаются на всех этажах;

- используются только в кратковременные перерывы (театры, кинотеатры); расположение рассредоточено – поблизости от фойе и кулуаров. Располагаются не далее 75м от наиболее удаленного места пребывания людей. Входы в уборные через умывальные. Входы в санитарные узлы для мужчин и женщин не ближе 3-4м друг от друга.

Также различают коммуникационные помещения, предназначенные для взаимосвязи отдельных помещений или их групп. Эти процессы существенно влияют на выбор их планировочного решения.

В современной практике проектирования и строительства зданий и сооружений существует несколько общих принципиальных схем, в соответствии с которыми реализовываются их архитектурно-планировочные решения. К таковым относятся такие схемы планировки, как анфиладная; зальная; атриумная; секционная, центрическая; коридорная и смешанная (рис. 2).

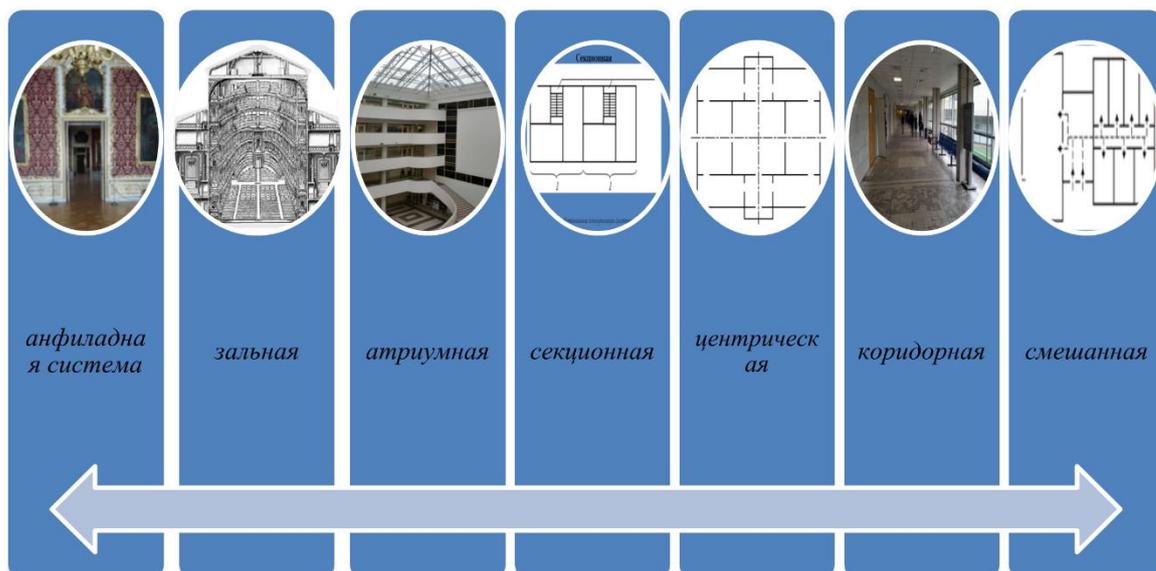


Рис. 2. Объемно-планировочные решения общественных зданий

Анфиладная система

Главной характеристикой анфиладной схемы планировки является то, что в ней коридоры отсутствуют вообще. В зданиях с такой планировкой все помещения находятся друг за другом, в последовательном порядке, причем они связаны между собой расположенными по одной оси дверными проемами. Чаще всего анфиладная схема планировки применяется во дворцах, музеях, торговых центрах, а также в некоторых других зданиях (рис. 3).



Рис. 3. Пример анфиладной системы: Мюнхенская резиденция, г. Мюнхен, Германия, 2017

Зальная планировка

Для достаточно широко распространенной зальной схемы планировки характерно то, что все функциональные процессы в зданиях, построенных в соответствии с ней, протекают в едином помещении (рис. 4). Оно имеет очень большую площадь. На основе зальной планировочной схемы проектируются и сооружаются выставочные залы, крытые рынки, театры (рис. 5) и другие подобные объекты.

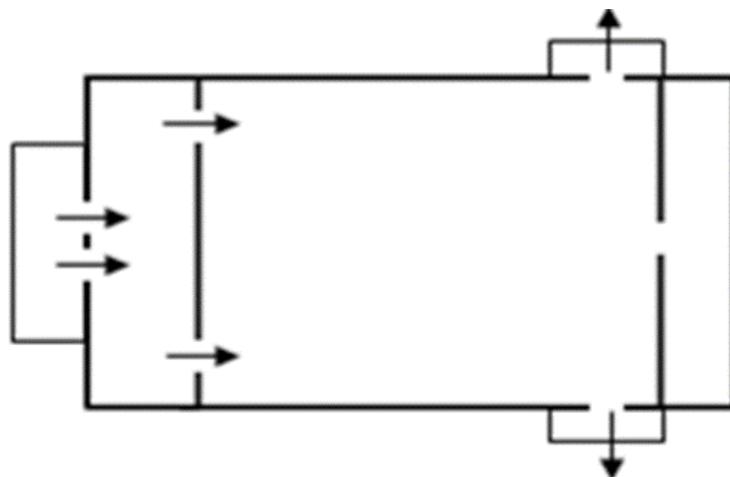


Рис. 4. Схема зальной системы



Рис. 5. Пример зальной системы: зал Большого театра, г. Москва

Атриумная система планировки

Для атриумной системы характерно наличие одного большого пространства, освещаемого через зенитный световой фонарь, проем в перекрытии, светопрозрачным покрытием; имеющего высоту два и более этажей и являющегося местом для общения и распределительным пространством всего общественного здания (рис. 6, 7).

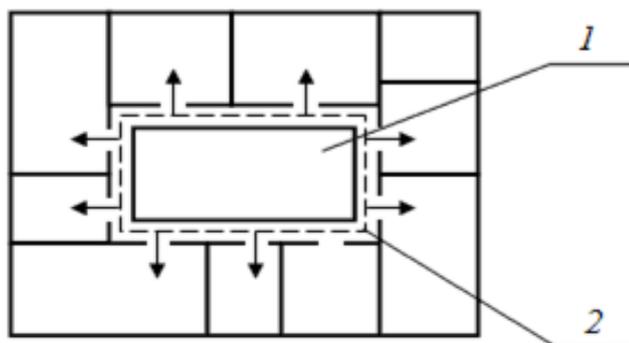


Рис. 6. Атриумная система
1 – атриум
2 – коммуникационные помещения



Рис. 7. Пример атриумной системы: здание УЛК в НИУ МГСУ, 2021 г.

Атриумы по классификации Магая А.А. различают в зависимости от их геометрического объемного расположения в общем объеме здания сбоку, в центре здания и пр. (рис. 8).

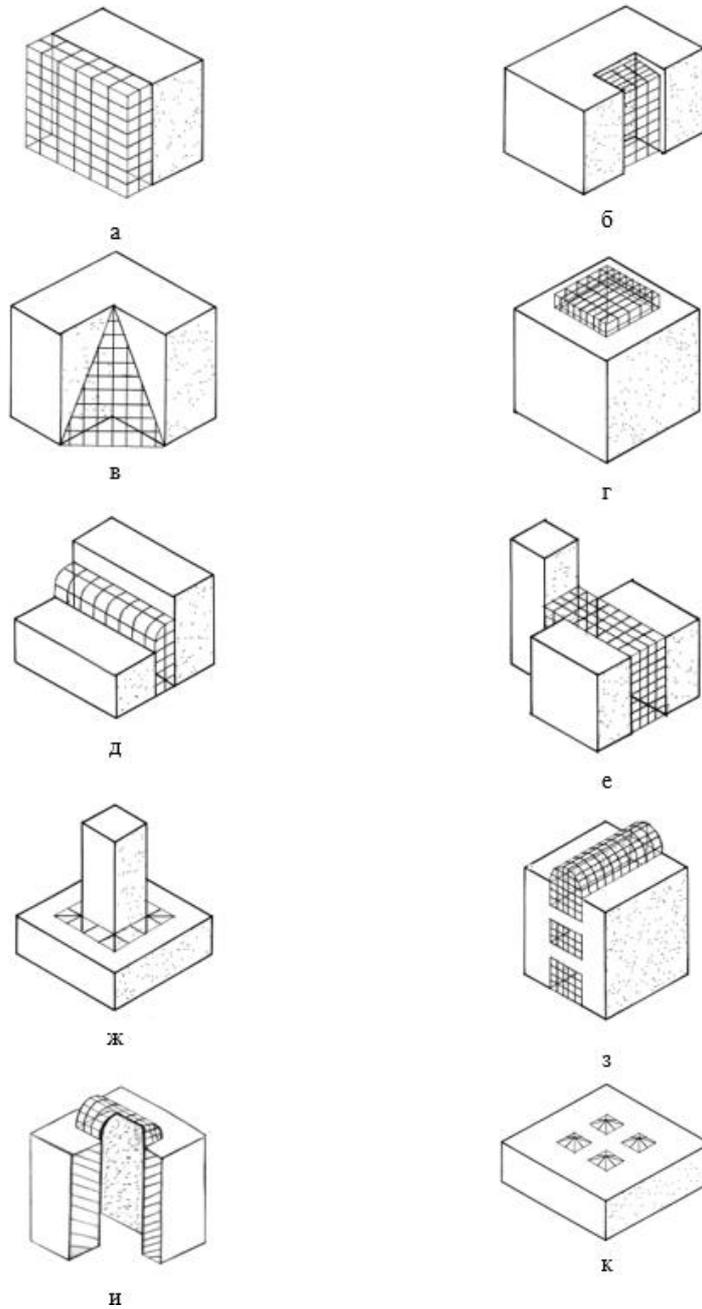


Рис. 8. Классификация атриумной системы по Магаю А.А.

а - отдельный атриум, примыкающий к одной стороне здания

б - примыкание атриума к трем сторонам здания

в - примыкание атриума к двум частям здания или между двумя зданиями

г - примыкание атриума сверху здания

д - атриум, расположенный между двумя объемами здания

е - атриум расположен между тремя частями здания или между зданиями

ж - атриум расположен в подиуме высотного здания

з - несколько атриумов, расположенных в разных по высоте частях здания

и - атриум на всю высоту здания

к - освещение атриума расположенного в подиуме

Секционная планировка

В основе секционной схемы лежит то, что все расположенные в зданиях, построенных на ее основе, помещения, сгруппированы в одинаковые по своей планировке группы, именуемые секциями. Наиболее широкое применение секционная схема нашла при проектировании жилых объектов (рис. 9).

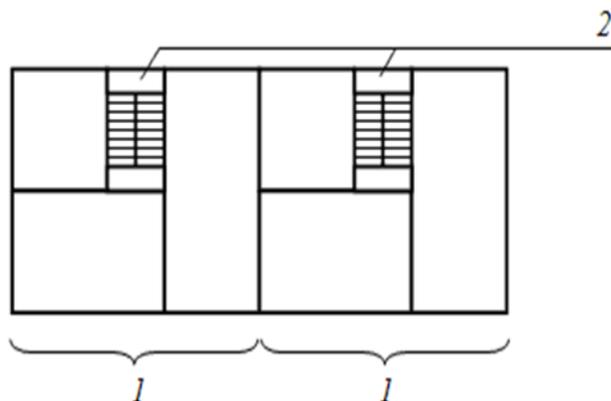


Рис. 9. Схема секционной планировки

1 – блок-секции

2 – вертикальные коммуникации (лестнично-лифтовые узлы)

Центрическая композиционная схема

Основной отличительной чертой центрической композиционной схемы является то, что ее «ядром» выступает главное помещение, имеющее достаточно большие размеры. Вокруг него группируют помещения вспомогательные, имеющие значительно меньшую площадь. Центрическая композиционная схема находит применение при проектировании и строительстве кинотеатров, театров, концертных залов (рис. 10).

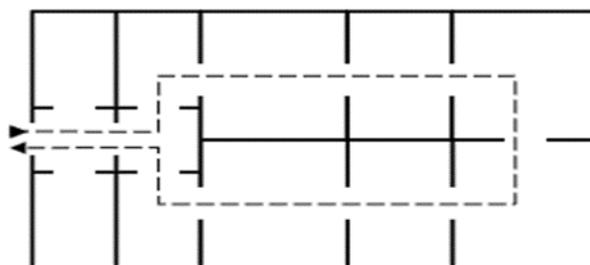
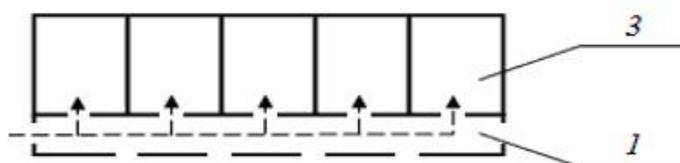


Рис. 10. Центрическая композиционная схема

Коридорная и галерейная системы планировки являются системами с горизонтальными коммуникационными помещениями.



а

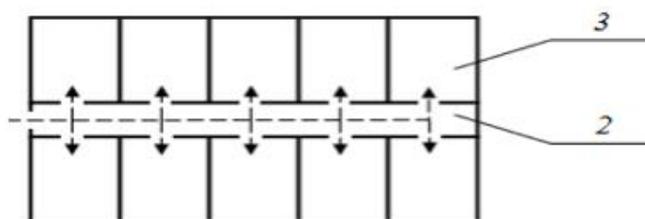


б

*Рис. 11. Галерейная система планировки
а – схема галерейной системы планировки
1 – открытая галерея
3 – рабочие или жилые помещения
б – пример галерейной планировки: галерея корпуса КМК в МГСУ, г. Москва*



а



б

*Рис. 12. Коридорная система планировки
а – схема коридорной системы планировки
2 – закрытый коридор
3 – рабочие или жилые помещения
б – пример коридорной системы планировки: больница, г. Обнинск*

Главной характерной особенностью галерейной и коридорной планировочных схем (рис. 11*а* и 12*а*) является то, что при их реализации все помещения располагаются с двух, с одной, или частично с одной, а частично с двух сторон общего коридора, который связан с одной или несколькими лестничными клетками. Если помещения располагаются с двух сторон коридора, то для обеспечения его естественного освещения в торцевых стенах устраиваются окна. Что касается длины общих коридоров, то в зданиях, спроектированных в соответствии с коридорной схемой, она составляет 20 метров при освещении с одного торца и 40 метров при освещении с двух торцов (рис. 11*б*, рис. 12*б*)

Лекция 2. Конструктивные системы, требования, предъявляемые к общественным зданиям

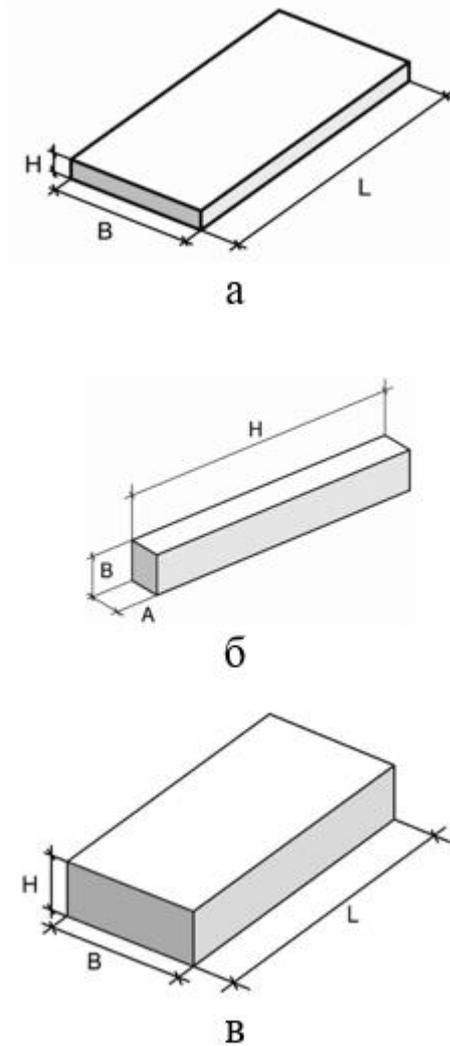
Конструктивная система здания – совокупность вертикальных, горизонтальных и наклонных, стержневых, плоскостных и объемных конструктивных элементов, обеспечивающих общую неизменяемость формы здания и отвечающих требованиям прочности, устойчивости и жесткости.

Назначение конструктивной системы - восприятие нагрузок и воздействий, не разрушаясь и не получая значительных перемещений.

Исходя из определения, конструктивные элементы здания могут быть плоскостными (перекрытия, стены и т.д.), стержневыми (колонны, стойки каркаса и т.д.) и объемными. Рассмотрим каждый из них.

Плоскостным элементом называют конструктивную единицу, один размер которой (толщина H) значительно меньше двух других генеральных размеров (ширины B и длины L) (рис. 1а.).

Например, перекрытие или стеновая панель, независимо от материала, из которого они созданы, всегда рассматриваются как плоскостные элементы. Причем, расположение стержневого или плоскостного элементов может быть горизонтальным, вертикальным или наклонным.



*Рис. 1. Конструктивные элементы здания:
 а - плоскостной конструктивный элемент здания;
 б - стержневой конструктивный элемент здания;
 в - объемный конструктивный элемент здания*

Стержневым называют элемент, в котором высота H значительно больше двух других геометрических размеров (B и A), например, колонна или балка (рис. 1б).

Объемным элементом называют конструктивную единицу, все размеры которой соизмеримы друг с другом (рис. 1.в). В виде примера можно назвать фундаменты стаканного типа.

Исходя из этих определений различают **основные типы конструктивных систем малоэтажных зданий** (рис. 2):

- *каркасная*;

- *стенная*;

- *комбинированная* - состоит из различных сочетаний стержневых и плоскостных вертикальных элементов.

- *оболочковая (или шатровая)* – конструктивная система, в которой вертикальные опоры отсутствуют, а наклонная конструкция покрытия опирается непосредственно на фундамент (арки, треугольные рамы и т. п.).



Рис. 2. Классификация конструктивных систем общественных зданий

Выбор конструктивных систем — один из основных вопросов, решаемых при проектировании зданий.

Рассмотрим **конструктивные системы со стеновыми несущими элементами** (рис. 3.):

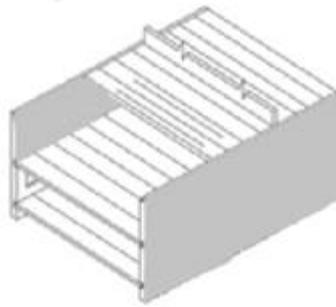
Стеновая конструктивная система — распространенная система в строительстве тех зданий, в которых преобладает многоячеековая планировочная структура (гостиницы, санатории, больницы и т. п.). Размеры таких ячеек, необходимость членений стенами и перегородками с обеспечением звукоизоляции помещений (например, палат, офисных помещений, др.) и другие особенности обуславливают техническую

целесообразность и экономическую оправданность применения стеновых зданий с применением местных строительных каменных материалов.

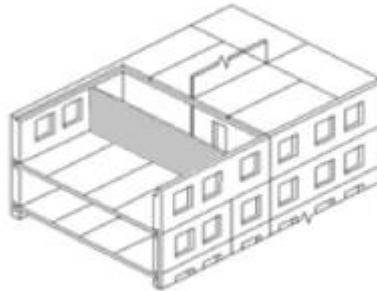
Несущие стены в таких конструктивных системах могут располагаться в продольном направлении (рис. 3а.), в поперечном направлении (рис. 3 б) или в двух направлениях одновременно (рис. 3в). Рассмотрим каждую из них.

1. Системы с продольно расположенными несущими стенами (рис. 3а) или, как принято говорить, с продольными несущими стенами, расположены вдоль длинной, фасадной стороны здания и параллельно ей.

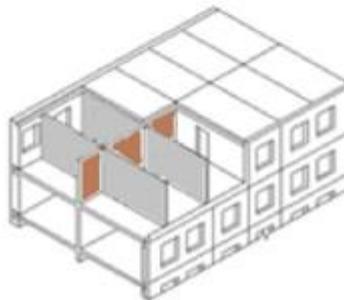
Таких параллельно расположенных стен может быть две, три. Соответственно существуют упрощенные названия таких стеновых конструктивных систем: двухстенка, трехстенка и т. п. (рис. 3а).



а



б



в

Рис. 3. Стеновые конструктивные системы

а - продольно – стеновая система

б - Поперечно–стеновая система

в - перекрестно–стеновая система

Продольными диафрагмами жесткости могут служить продольные стены лестничных клеток, отдельные участки продольных наружных и внутренних стен.

Примыкающие к ним плиты перекрытий рекомендуется опирать на продольные диафрагмы, что улучшает работу диафрагм на горизонтальные нагрузки и повышает жесткость перекрытий и здания в целом.

В зданиях продольно-стеновой конструктивной системы вертикальные нагрузки воспринимаются и передаются основанию продольными стенами, на которые опираются перекрытия, работающие преимущественно по балочной схеме. Для восприятия горизонтальных нагрузок, действующих перпендикулярно продольным стенам, необходимо предусматривать вертикальные диафрагмы жесткости. Такими диафрагмами жесткости в зданиях с продольными несущими стенами могут служить, поперечные стены лестничных клеток, торцевые, межсекционные и др. Примыкающие к вертикальным диафрагмам жесткости плиты перекрытий рекомендуется опирать на них. Такие здания рекомендуется проектировать высотой не более 17 этажей.

2. Системы с поперечно расположенными (с поперечными) несущими стенами (рис. 3б)

В зданиях поперечно-стеновой конструктивной системы вертикальные нагрузки от перекрытий и ненесущих стен передаются в основном на поперечные несущие стены, а плиты перекрытия работают преимущественно по балочной схеме с опиранием по двум противоположным сторонам. Горизонтальные нагрузки, действующие параллельно поперечным стенам, воспринимаются этими стенами. Горизонтальные нагрузки, действующие перпендикулярно поперечным стенам, воспринимаются: продольными диафрагмами жесткости; плоской рамой за счет жесткого соединения поперечных стен и плит перекрытий; радиальными поперечными стенами при сложной форме плана здания.

Здания с поперечными несущими стенами и продольными диафрагмами жесткости рекомендуется проектировать высотой до 17 этажей. При отсутствии продольных диафрагм жесткости в случае жесткого соединения монолитных стен и плит перекрытий рекомендуется проектировать здания высотой не более 10 этажей.

Разновидности таких систем:

- с широким шагом (более 4,8 м);

- с узким шагом (4,2 ... 4,8 м);
- со смешанными шагами.

При проектировании зданий поперечно-стеновой и продольно-стеновой конструктивных систем необходимо учитывать, что параллельно расположенные несущие стены, объединенные между собой только дисками перекрытий, не могут перераспределять между собой вертикальные нагрузки. Для обеспечения устойчивости стен при аварийных воздействиях (пожаре, взрыве газа) рекомендуется предусматривать участие стен перпендикулярного направления. При наружных несущих стенах из небетонных материалов (например, из слоистых панелей с листовыми обшивками) рекомендуется продольные диафрагмы жесткости располагать так, чтобы они хотя бы попарно соединяли поперечные стены. В изолированно расположенных несущих стенах рекомендуется предусматривать вертикальные связи в горизонтальных соединениях и стыках.

Здания с радиально расположенными поперечными стенами при монолитных перекрытиях можно проектировать высотой до 25 этажей. Температурно-усадочные швы между секциями протяженного здания с радиально расположенными стенами рекомендуется размещать так, чтобы горизонтальные нагрузки воспринимались стенами, расположенными в плоскости их действия или под некоторым углом. С этой целью в температурно-усадочных швах необходимо предусматривать специальные демпферы, работающие податливо при температурно-усадочных воздействиях и жестко — при ветровых нагрузках.

3. Системы с перекрестным расположением несущих стен (перекрестно-стеновая система) (рис. 3а)

Перекрестно-стеновая схема характеризуется малыми размерами (до 20 м²) конструктивно-планировочных ячеек, что ограничивает область ее применения жилыми зданиями. Частое расположение поперечных стен делает трансформацию планов зданий практически неосуществимой. Разнообразие планировочных решений в проектировании домов на основе этой схемы

достигают применением нескольких размеров шагов поперечных стен (например, 3,0; 3,6; 4,2 м) в различных сочетаниях. Благодаря высокой пространственной жесткости перекрестно-стеновую схему широко применяют в проектировании многоэтажных зданий, а также в сложных грунтовых и сейсмических условиях.

Теперь обратимся к видам *каркасных конструктивных систем*.

В каркасных конструктивных системах основными вертикальными несущими конструкциями являются колонны каркаса, на которые передается нагрузка непосредственно к перекрытиям (безригельный каркас) или через ригели (ригельный каркас). Прочность, устойчивость и пространственная жесткость каркасных зданий обеспечивается совместной работой перекрытий и вертикальных конструкций.

Определяющим признаком в этом случае является расположение ригелей каркаса.

Различают четыре типа конструктивных каркасных систем (рис. 1.7.5.):

- с продольным расположением ригелей (рис. 4 а);
- с поперечным расположением ригелей (рис. 4 б);
- с перекрестным расположением ригелей (рис. 4 в);
- с безригельным каркасом, при котором ригели отсутствуют, а гладкие или кессонированные плиты перекрытий (так называемые безбалочные) опираются или на капители колонн, или непосредственно на колонны (рис. 4 г).

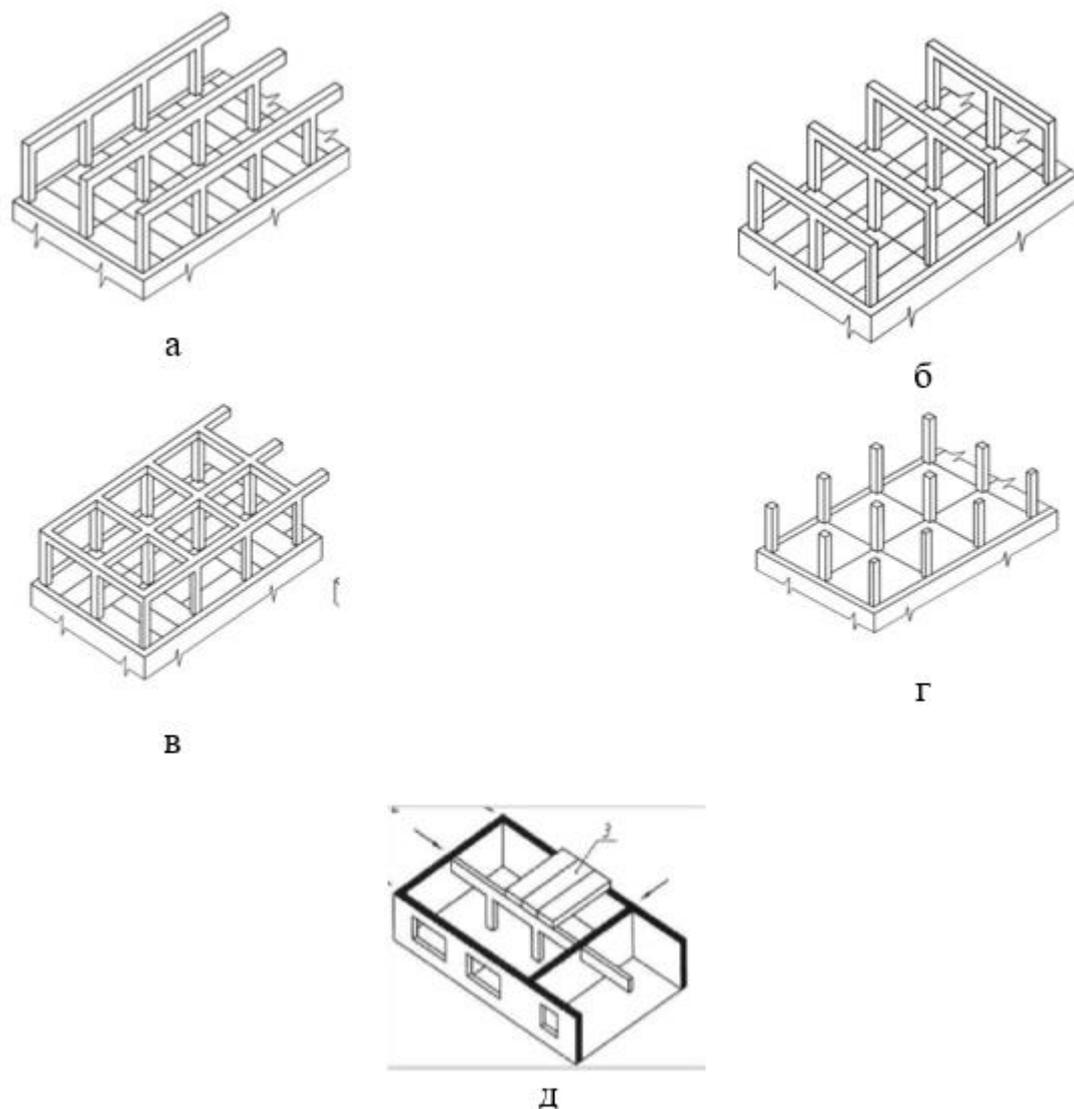


Рис. 4. Каркасные конструктивные системы

- а - каркасная конструктивная система с продольно расположенными ригелями*
- б - каркасная конструктивная система с поперечно расположенными ригелями*
- в - каркасная конструктивная система с перекрестно расположенными ригелями*
- г - каркасная безригельная конструктивная система*
- д - конструктивная система с неполным каркасом*

Каркасная конструктивная система применяется для зданий с большими, не разгороженными перегородками помещениями, для производственных зданий, независимо от их этажности; для многих типов общественных зданий и сооружений; а в последние годы и в жилищном, в том числе малоэтажном строительстве.

Применяются большей частью системы с поперечным расположением ригелей. Расположение ригелей в двух направлениях характерно для многоэтажных каркасных зданий при строительстве в сейсмических районах. Безригельный каркас применяется обычно в многоэтажных общественных зданиях с оригинальными компоновочными решениями планов и т. д.

При комбинированной конструктивной системе (рис. 4з, рис. 5а) наиболее часто встречаются:

Расположение стен — по периферии, а стоек каркаса — внутри здания (неполный каркас);

- конструктивные каркасные системы с ядром жесткости (рис. 5б.)
- системы, в которых каркас расположен в пределах нижних 1 ... 3 этажей, а выше — бескаркасная конструктивная система (рис. 5в).

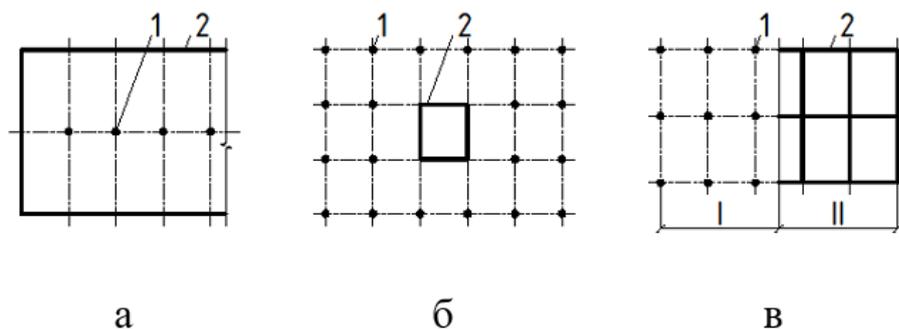


Рис. 5. Комбинированные конструктивные системы здания:

а - неполный каркас

б - с ядром жесткости

в - с каркасной конструктивной системой в первых этажах и со стеновой в вышележащих этажах

1 - колонна

2 - несущая стена

Комбинированная конструктивная система чаще применяется при строительстве гражданских многоэтажных зданий; в промышленном же строительстве значительно реже. Системы, в которых первые два-три этажа каркасные, а остальные бескаркасные, характерны для строительства многоэтажных жилых зданий, а также гостиниц, санаториев и т. п., т. е. зданий, в которых функционально используют первые этажи.

Нормативные требования к общественным зданиям и их элементам

Проектирование новых, реконструируемых и капитально ремонтируемых общественных зданий и сооружений, в том числе при изменении их функционального назначения, с подземными этажами глубиной не более 15 м от уровня земли делают с учетом требований СП 118.13330.2012 Общественные здания и сооружения.

Требования распространяются также на помещения общественного назначения, встраиваемые в жилые здания и в другие объекты, соответствующие санитарно-эпидемиологическим требованиям к общественным зданиям.

Безопасность зданий и сооружений, а также связанных со зданиями и с сооружениями процессов проектирования и строительства, обеспечивается посредством соблюдения требований Федерального закона N 384-ФЗ и требований стандартов и сводов правил СП 118.13330.2012 и СП 31-102-99. Требования доступности общественных зданий и сооружений для инвалидов и других маломобильных посетителей.

Проектировщик создает полноценную архитектурную среду, обеспечивающую необходимый уровень доступности для всех категорий населения и беспрепятственное пользование ими предоставляемыми услугами. При этом, требования распространяются на все элементы общественных зданий и сооружений или их части, а также на участки учреждений, доступные для посетителей. Архитектурные решения общественных зданий и сооружений проектировщик ориентирует одновременно на компенсацию нарушений здоровья в области опорно-двигательного аппарата, слуха, зрения, сердечно-сосудистой системы, психики, других отклонений.

В целях создания равных с другими гражданами возможностей для полноценного участия в жизни общества лиц, которые имеют нарушение здоровья (со стойким расстройством функций организма, обусловленным заболеваниями, последствиями травм или дефектами), приведшее к

ограничению жизнедеятельности (инвалидов), и на основании действующего законодательства государство среди других мер социальной защиты предусматривает обеспечение беспрепятственного доступа инвалидов к объектам социальной инфраструктуры.

Необходимо преодолеть предубеждение, что специальные дополнительные мероприятия лишь удорожают строительство или создают препятствия для здоровых людей. Адаптированные здания удобны для всех категорий населения: беременных женщин, матерей с прогулочными колясками, для людей преклонного возраста с любой функциональной недостаточностью, для покупателей с ручной кладью и т. п. Такие здания легче поддаются функциональным преобразованиям. Проектно-организационные мероприятия должны быть направлены не на доступность здания инвалидами как самоцель, а на беспрепятственное получение ими требуемой услуги. Если формальная доступность здания достигается планировочными и инженерными средствами, то доступность получения услуги зависит и от организационных мероприятий. Таким образом, выполнение ст. 15 Закона РФ может осуществляться как путем проектирования, приспособления зданий для доступа инвалида к услуге, так и путем "доставки" услуги к инвалиду (на дом, в места отдыха и т.п.).

К объектам нормирования архитектурной среды для маломобильных лиц в общественных зданиях и сооружениях следует относить: благоустройство и озеленение участка; объемные элементы входов и выступающих частей; планировочное решение, в том числе коммуникационные пути; планировку групп помещений и отдельных помещений; устройство мест обслуживания и мест отдыха; устройство и планировку мест сопутствующего обслуживания.

Основным принципом формирования архитектурной среды общественных зданий, доступной как для здоровых, так и для всех категорий маломобильных граждан, является создание беспрепятственного доступа к месту получения услуги (обслуживания). При этом препятствие может иметь

не только физическую или пространственную форму, но и информационную или психологическую, что связано с недопустимой потерей времени.

В зависимости от проектной доли маломобильных посетителей, от финансовых возможностей заказчика и функциональной структуры учреждения обслуживания рекомендуется применять один из двух вариантов форм обслуживания (не учитывая обслуживания на дому):

вариант "А" — доступность любого места обслуживания для инвалидов; следует предусматривать устройство общих универсальных путей движения для здоровых, инвалидов и маломобильных лиц и приспособление для нужд лиц с нарушением здоровья, специальных мест обслуживания из состава общего числа таких мест;

вариант "Б" — выделение в уровне входной площадки специальных помещений, зон или блоков, приспособленных для обслуживания инвалидов; следует предусматривать устройство специальных входов, специально обустроенных параллельных путей движения и мест обслуживания для лиц с нарушениями здоровья.

Если к объекту проектирования могут быть применены в зависимости от принятого варианта формы обслуживания различные требования, то после указания номера и перед текстом нормативного положения указывается индекс варианта проектного решения — "А" или "Б".

Под безопасностью понимается возможность посещения места обслуживания без риска быть травмированным каким-либо образом или причинить вред своему имуществу или нанести вред другим людям, зданию или сооружению, оборудованию. Основными требованиями критерия безопасности являются: возможность избежать травм, ранений, увечий, излишней усталости и т.п. из-за свойств архитектурной среды зданий; возможность своевременного опознавания и реагирования на места и зоны риска; избежание плохо воспринимаемых мест пересечения путей движения; предупреждение потребителей о зонах, представляющих потенциальную

опасность; исключение ложных эффектов восприятия среды, провоцирующих ситуации риска.

Информативность обеспечивает возможность своевременного получения, осознания информации и соответствующего реагирования на нее. Требования критерия информативности включают в себя: своевременное распознавание ориентиров в архитектурной среде общественных зданий; точную идентификацию своего места нахождения и мест, являющихся целью посещения; использование средств информирования, соответствующих особенностям различных групп потребителей; возможность эффективной ориентации посетителя как в светлое, так и в темное время суток; сокращение времени и усилий на получение необходимой информации; возможность иметь непрерывную информационную поддержку на всем пути следования по зданию. Размещение и характер исполнения элементов информационного обеспечения должны учитывать: расстояние, с которого сообщение может быть эффективно воспринято; углы поля наблюдения, удобные для восприятия зрительной информации; ясное начертание и контрастность, а при необходимости — рельефность изображения; соответствие применяемых символов или пластических приемов общепринятому значению; исключение помех восприятию информационных средств.

Уровень комфортности архитектурной среды рекомендуется оценивать как с физической, так и с психологической позиции маломобильных групп населения. Критерий комфортности (удобства) содержит основные требования: создание условий для минимальных затрат и усилий потребителя на удовлетворение своих нужд; обеспечение своевременной возможности отдыха, ожидания и дополнительного обслуживания, обеспечение условий для компенсации усилий, затраченных на движение и получение услуги; повышение качества обслуживания через его концентрацию в пространстве здания, увеличение ассортимента услуг с учетом состояния здоровья потребителей за счет создания дополнительных условий, помогающих потребителю в получении необходимых услуг. Нижним пределом

комфортности (удобства) следует считать созданный уровень условий, при которых получение и оказание услуги не может быть признано дискомфортным (неудобным). Повышение комфортности рекомендуется осуществлять путем: сокращения необходимого пути и времени для получения на одном месте нескольких услуг, приближения к местам обслуживания и увеличения числа мест отдыха, получения заблаговременно нужной информации, применения необходимого и эргономичного оборудования и др.

Для обеспечения доступности маломобильных лиц к местам обслуживания в зданиях и сооружениях рекомендуется соблюдать следующий порядок приоритетов проектирования: объемно-пространственное решение здания, его внешний облик и детали декора фасадов, в том числе элементы входов; функциональные зоны, группы помещений, помещения; места обслуживания; коммуникационные, рекреационные пространства и помещения, в том числе зоны и места отдыха и ожидания, санитарно-гигиенические помещения; элементы инженерного оборудования, в том числе специального, для лиц с нарушениями здоровья; решения интерьеров и мебели; системы информационного обеспечения, в том числе наружная реклама.

Архитектурное решение объекта должно помогать маломобильному посетителю: идентифицировать зоны здания, сооружения, помещения; находить и использовать коммуникационные пространства, определять направления своего пути, в том числе при эвакуации; своевременно определять и уверенно избегать зоны риска.

При организации движения непосредственно вдоль фасадов зданий следует учитывать требования к путям движения, относящиеся к выступающим элементам и конструкциям фасада.

Желательно предусматривать у входных частей фасадов зданий места отдыха с соответствующим выделением средствами архитектурной пластики и декором, а также зоны сопутствующего обслуживания.

При выборе светотеневого решения следует (особенно для слабовидящих) предусматривать более высокую освещенность в местах, являющихся целью движения посетителя.

Лекция 3. Плоскостные конструкции покрытий общественных зданий

Все конструктивные системы покрытия можно рассматривать с двух позиций, оказывающих влияние на архитектурный облик всего здания. Во-первых, с позиции работы конструкции в одном, двух или нескольких направлениях одновременно, и тогда мы делим их на плоскостные и пространственные. Во-вторых, с позиции отсутствия или наличия распора в конструкции, и тогда мы имеем дело с безраспорными и распорными конструкциями.

Плоскостными называются конструкции, работающие только в одной вертикальной плоскости, проходящей через опоры; к ним относятся балки, фермы, рамы, арки.

У распорных конструкций под влиянием собственной массы и внешних вертикальных нагрузок на опорах возникают помимо вертикальных еще и горизонтальные составляющие реакций, называемые распором. Безраспорными конструкциями называют такие, у которых горизонтальные составляющие опорных реакций отсутствуют.

Балки и фермы представляют собой основные виды безраспорных плоскостных конструкций

Классификация ферм и область их применения

ФЕРМА (от лат. firmus прочный)- система прямолинейных стержней, соединенных между собой в узлах и образующих геометрически неизменяемую конструкцию (рис. 1).

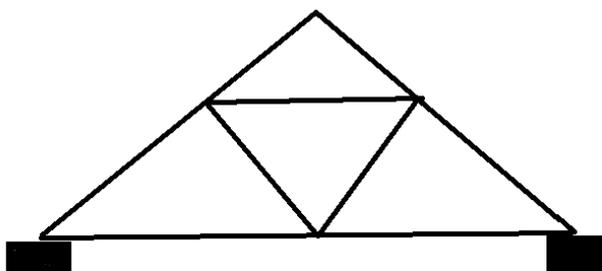


Рис. 1. Схема фермы

В действительности узлы фермы не являются шарнирными. Пояса фермы представляют собой неразрезные стержни, а узловые соединения обладают значительной жесткостью. Но даже в том случае, если эти соединения заменить идеальными шарнирами, то конструкция не потеряет устойчивости и жесткости.

Основными элементами ферм являются **верхний и нижний пояса**, образующие контур фермы, и **решетка**, состоящая из **раскосов** и **стоек** (рис. 2).

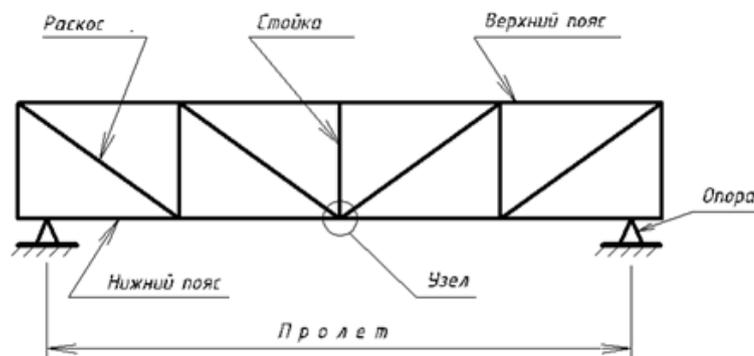


Рис. 2. Элементы ферм

Соединение элементов в узлах осуществляется путем непосредственного примыкания одних элементов к другим (рис 3.,а) или с помощью узловых фасонки (рис. 3.,б). Элементы ферм центрируются по осям центра тяжести для снижения узловых моментов и обеспечения работы стержней на осевые усилия. Расстояние между соседними узлами поясов называется панелью (d_v — панель верхнего пояса, d_n — нижнего), а расстояние между опорами — пролетом (l).

Пояса ферм работают на продольные усилия и момент (аналогично поясам сплошных балок); решетка ферм воспринимает в основном поперечную силу, выполняя функции стенки балки.

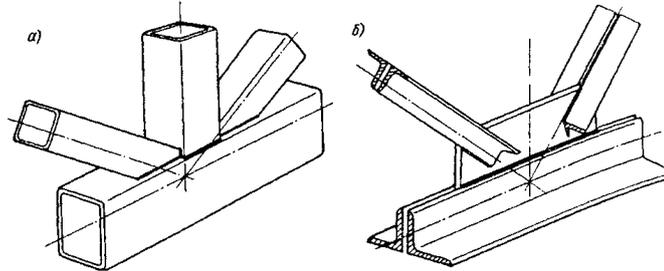


Рис. 3. Узлы ферм

а – с непосредственным примыканием элементов

б – на фасонках

Фермы можно классифицировать по следующим признакам:

1. Характер очертания поясов (т.е. внешнего контура) (рис. 4.)

Унификация узлов в них плохая, трудоемкость высокая, поэтому они применяются только при больших пролетах (60,100 м), когда выгодное очертание поясов окупает некоторое усложнение конструкции. Высота полигональных ферм в пролете может быть $H = (1/8 \dots 1/12) L$.

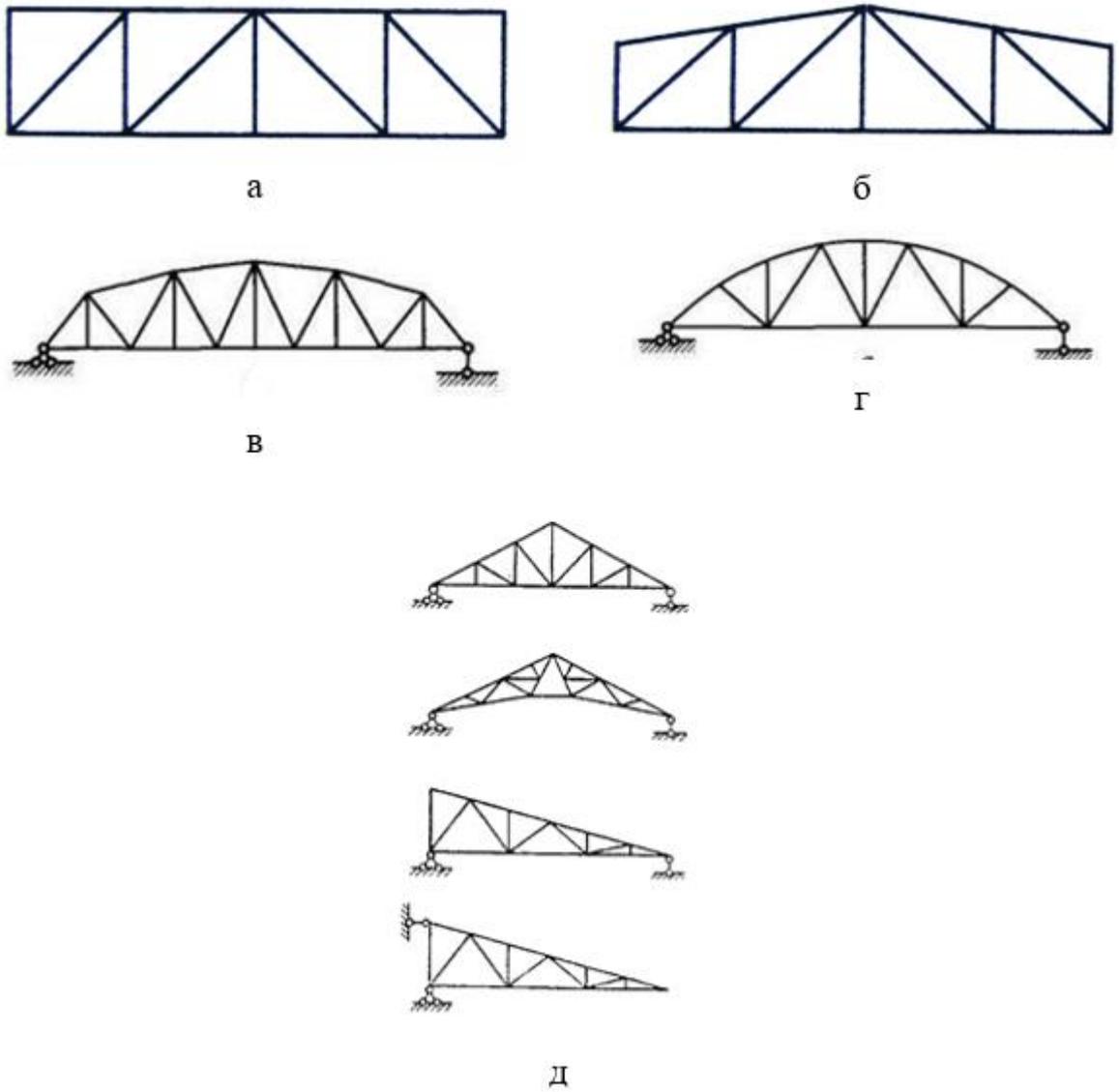


Рис. 2.1.4. Характер очертания поясов

а - параллельные пояса

б - трапецевидный пояс

в - полигональный пояс

г - сегментные

д - треугольные пояса

2. Тип решётки (рис. 5.) бывает: треугольная; раскосная; полураскосная; ромбическая и др.

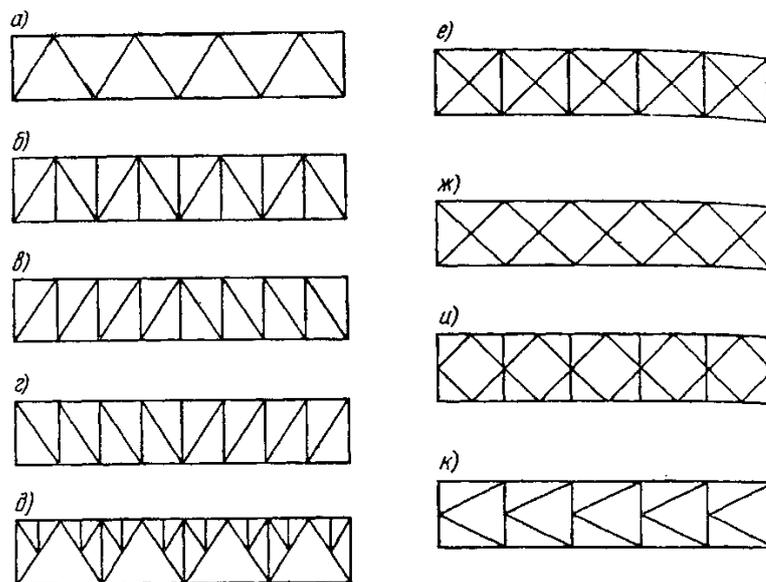


Рис. 2.1.5. Системы решетки ферм

а – треугольная

б – треугольная с дополнительными стойками

в – раскосная с восходящими раскосами

г – раскосная с нисходящими раскосами

д – шпренгельная

е – крестовая

ж – перекрестная

и – ромбическая

к – полураскосная

3. По статической схеме (или методу опирания) (рис. 6.)

- Балочная (разрезная, неразрезная, консольная)

- Арочная

- Рамная

- Комбинированная

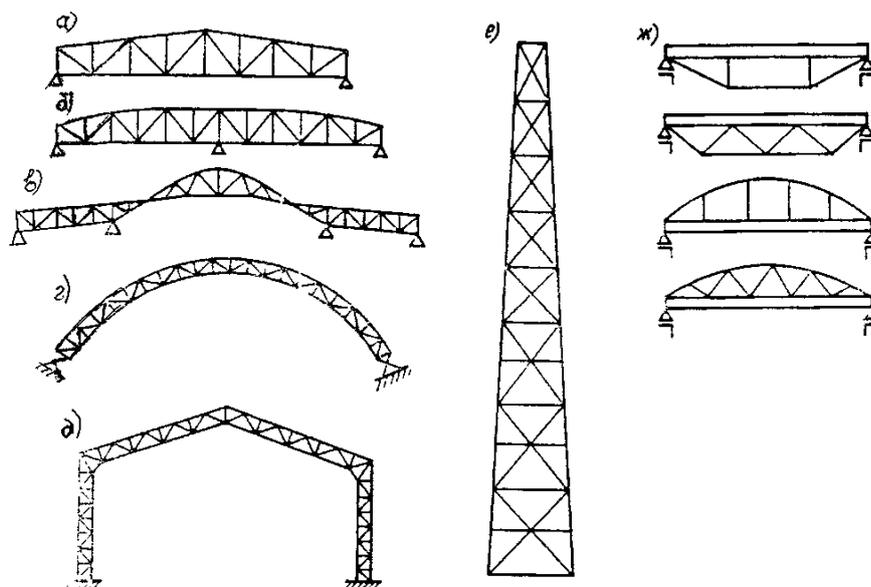


Рис. 6. Системы ферм

а – балочная разрезная

б – неразрезная

в, г – консольная

г – арочная

д – рамная

ж – комбинированная

4. Назначение

- Стропильные (рис. 7.)

Ферма Гау (рис. 7.а) является самым ранним типом сквозной фермы; она запатентована в США в 1840 г. В этой конструкции диагональные элементы решетки (раскосы) сжаты, а вертикальные растянуты. Пояса и раскосы делаются из дерева, а вертикальные элементы представляют собой металлические тяжи.

Ферма Пратта или Хова имеет параллельные пояса, растянутые нисходящими раскосами и сжатые стойки (рис. 7. б). Ферма Финка (рис. 7. г), используемая в тех же целях, состояла из более коротких деталей и на практике оказалась гораздо лучше. Если в нижней части фермы Финка проложить сплошную балку, она станет фермой Пратта или Хова. Ферма Пратта-Хова одинаково хорошо работает при воздействии нагрузки и сверху,

снизу, то есть, можно сказать, она одинаково хорошо ведет себя и с точки зрения выгибания, и с точки зрения провисания.

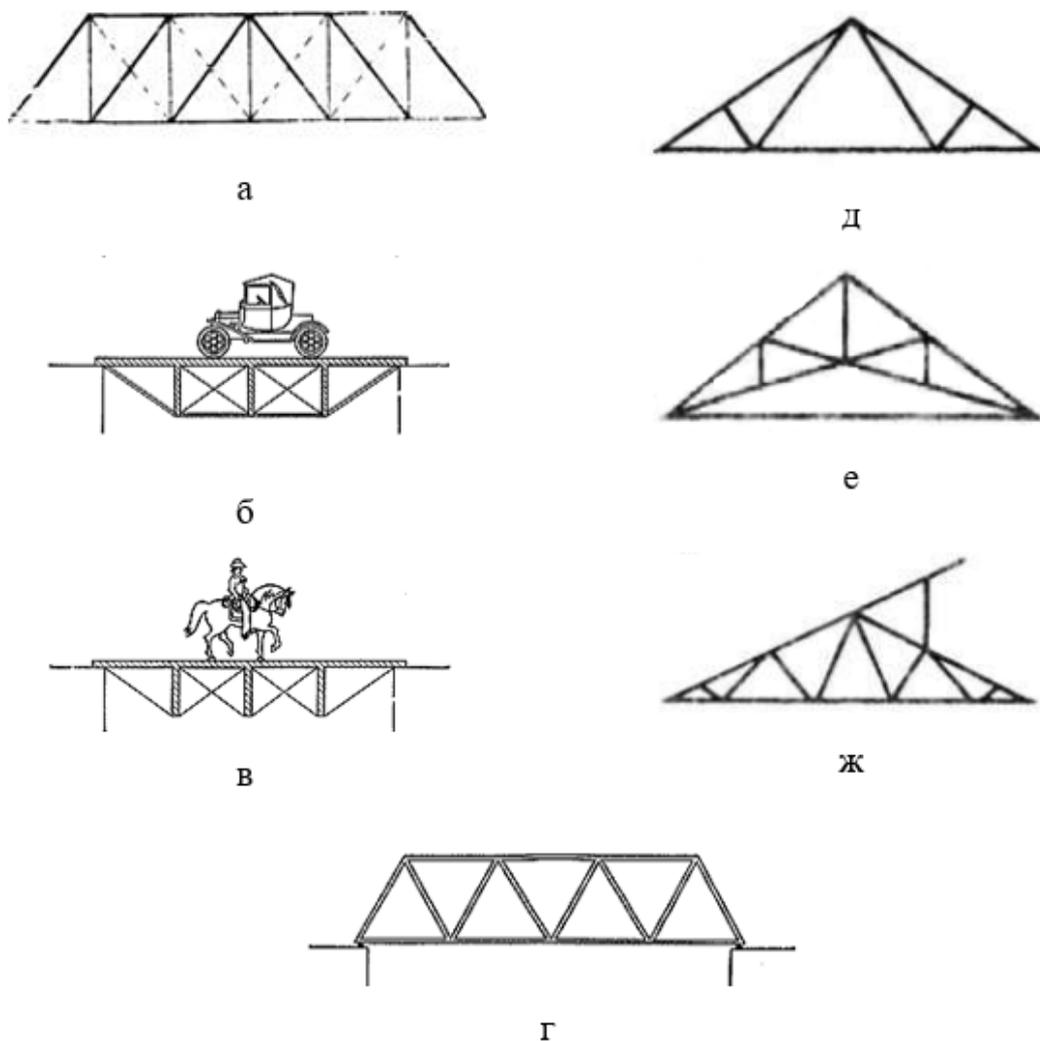


Рис. 7. Стропильные системы ферм

а - схема фермы Гау

б - Ферма Пратта – Хова

в - Ферма Финка

г - ферма Уоррена (с решёткой из треугольников)

д - бельгийская (треугольная) ферма

е - ферма с перекрёстными подкосами

ж - ферма под верхний свет

Далее, если использовать детали, которые могут работать как на сжатие, так и на растяжение, то можно упростить конструкцию такой фермы, получив в результате ферму Уоррена (рис. 7. г). Именно эта ферма особенно часто используется в конструкциях, сделанных из обычного стального проката.

Современными треугольными фермами со шпренгелями в верхнем поясе, поддерживающей крышу, и с перекрёстными подкосами, являются бельгийская треугольная ферма (рис. 7. д) и ферма с перекрёстными подкосами (рис. 7. е).

В крупных общественных зданиях при проектировании зальных помещений большой ширины для создания естественного светового режима в помещениях применяют так называемый «верхний свет», который создают сплошные светопрозрачные покрытия в виде поперечных полос или зенитные фонари. Верхний свет применяется в зданиях выставок, вокзалов, почтамтов, в спортзалах, музеях, картинных галереях и других. Обычно вокруг освещённых зальных помещений располагают другие помещения. Для освещения используют фермы под верхний свет (рис. 7. е).

Одной из первых появилась ферма Больмана (рис. 8.), она получила в Америке широкое распространение благодаря скорее политическим, чем техническим талантам ее создателя. Больману каким-то образом удалось убедить американское правительство в том, что его конструкция фермы "единственно надежная" и одно время ее там внедряли даже принудительно.

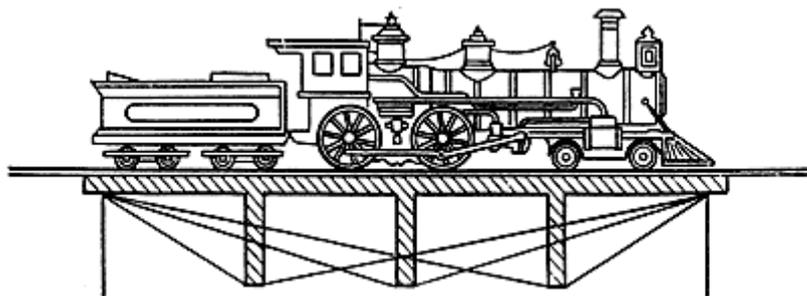


Рис. 8. Ферма Больмана

На рис. 8 показана упрощенная ферма Больмана с тремя секциями. На самом деле это было весьма сложное сооружение с гораздо большим числом секций. Кроме того, работающие на растяжение части конструкции были без какой-либо нужды непомерно удлинены.

- башенные
- мостовые.

5. Материал исполнения

Для сравнения видов материала и соответствующих им пролетов предлагается сравнительная таблица (табл.1), благодаря которой можно сразу отбросить те варианты материалов, которые невозможно использовать для каждого конкретного случая, и оставить лишь один верный вариант.

Таблица 1.

Сравнительная таблица пролетов

Рекомендуемые пролеты, м	Строительная высота	Материал
12-30	1/8-1/10 L	железобетон
12-36	1/6-1/8 L	металлодеревянные
18-36 (унифицированные)	1/8-1/10 L	металл
более 36(не унифицированные)	1/8, 1/12 L	металл

РАМА - стержневая распорная система, состоящая из стоек и ригелей, жестко или шарнирно соединенных в узлах и работающих совместно.

В практике строительства общественных зданий находят широкое применение рамные конструкции. Особенностью статической работы рам является жесткое сопряжение ригеля со стойками, что приводит к уменьшению изгибающего момента в пролёте и, следовательно, к уменьшению сечения ригеля. Приложение к любому элементу рамы нагрузки, вызывающей поворот или перемещение этих узлов, приводит в силу их жесткости к включению в работу всех остальных элементов. В этом заключается резерв ее несущей способности, выгодно отличающей раму с жесткими узлами от систем с шарнирами. Пролеты, перекрываемые рамами, колеблются в широких пределах: от самых небольших до превышающих 100 м. Пролет и высота рам подчинены функциональным требованиям.

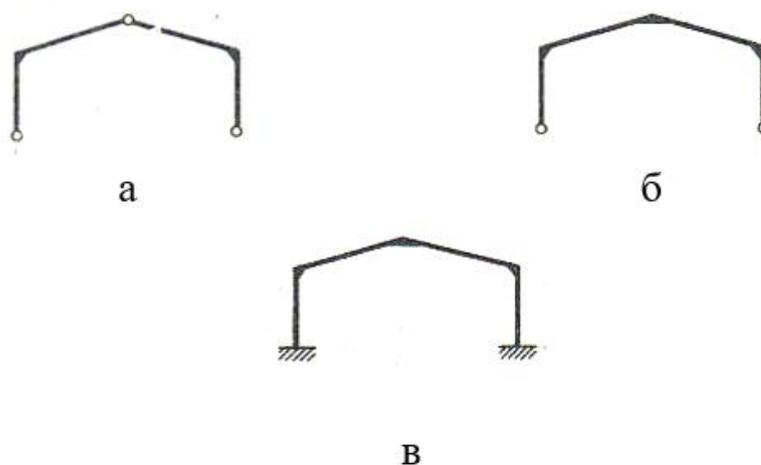
Распор (горизонтальная составляющая опорной реакции) воспринимается в раме либо в конструкции фундамента, либо затяжкой, размещаемой под полом помещения, либо в верхней части рамы.

Классифицировать рамы можно по следующим параметрам:

По материалу (рис. 9):

- металл;
- железобетон;
- дерево.

По статической схеме рамы классифицируют (рис. 9): бесшарнирными; двухшарнирными; трехшарнирными.



*Рис. 9. Расчетные схемы рам
а - схема трёхшарнирной рамы
б - схема двухшарнирной рамы
в - схема бесшарнирной рамы*

Трёхшарнирные рамы (рис. 9, а) наиболее металлоемки, поэтому их использование ограничено небольшими пролетами и высотами. Их применяют в том случае, когда пролет и высота позволяют полностью изготовить полураму в заводских условиях и транспортировать на строительную площадку.

Двухшарнирные рамы (рис. 9, б) имеют наиболее широкое применение, так как в них достаточно полно проявляется эффект заземления ригеля в стойках и они мало чувствительны к осадке фундаментов.

Самые экономичные по расходу материала — бесшарнирные рамы, поэтому их используют при самых больших пролетах, характерных для рам.

Однако такие рамы очень чувствительны к осадке опор и температурным воздействиям. Их можно проектировать для скальных или полускальных грунтов основания.

Бесшарнирная рама (рис. 9. в) характеризуется небольшим изгибающим моментом в пролёте ригеля и значительным моментом в узлах рамы, что увеличивает сечение колонн и ригеля у опоры. Наличие шарниров делает раму менее чувствительной к осадке опор и значительно упрощает членение ее на сборные элементы. Количество шарниров отражается на величине распоров: чем больше шарниров, тем больше распор.

По геометрии стоек и ригеля (рис. 10):

- горизонтальное или ломаное очертание ригеля;
- вертикальные или наклонные стойки;
- одностоечные, двухстоечные;
- с Г- и Т-образными стойками.

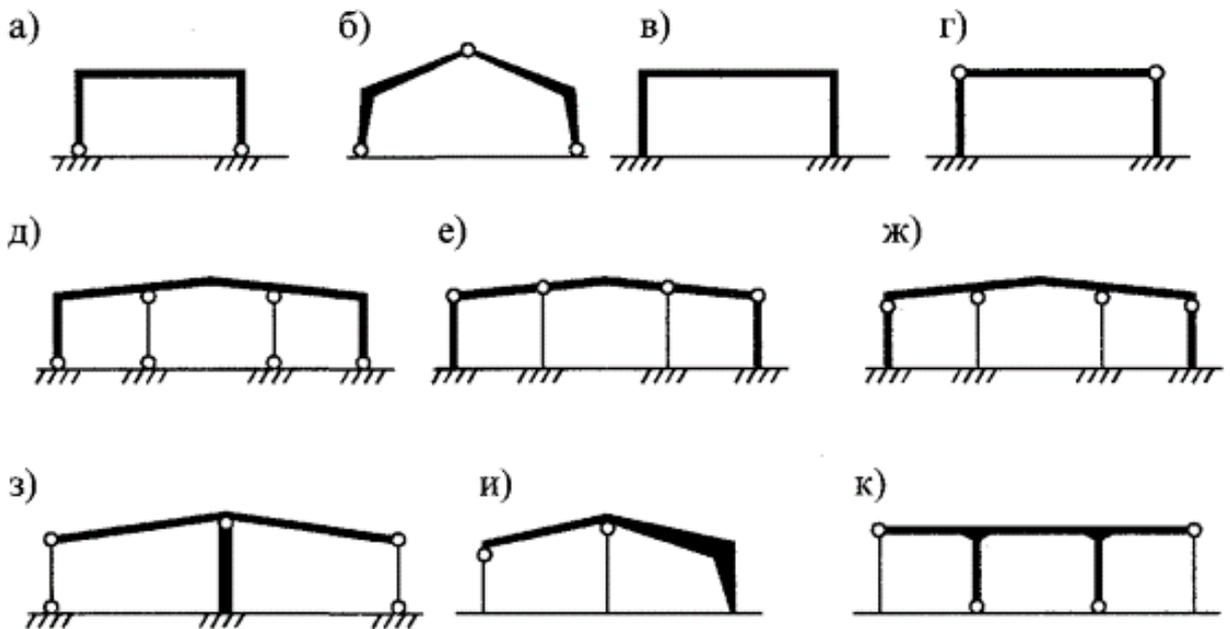


Рис. 10: Различные варианты рам в зависимости от геометрии стоек и ригеля:

*а, в, г, к - с горизонтальными и наклонными ригелями
 б, д, е, ж, з, и - с вертикальными и наклонными стойками*

Ломаный ригель или наклонные стойки приближают очертания рамы к кривой давления, снижая тем самым величины изгибающих моментов (рис. 10, б, д, е, ж, з, и).

Криволинейные очертания рамных форм в ряде случаев позволяет получить определенный архитектурный эффект. Они допускают устройство крупных нависающих консолей, например на железнодорожных перронах, посадочных площадках аэровокзалов, над трибунами стадионов, входами в крупные общественные здания и т.д.

По методу монтажа:

- монолитные;
- сборные.

Железобетонные рамы выполняют монолитными или сборными, они могут быть предварительно напряженными; их конструктивные формы весьма многообразны.

Рамы применяют в зданиях выставочных павильонов, театров и зрелищных залов, крытых рынках и крупных универсамах, стадионах; спортивных залах, др.

Унифицированные железобетонные и деревянные (гнуто клеенные) рамы используются в настоящее время при строительстве сельскохозяйственных зданий. Это трехшарнирные сборные рамы с пролетом 12-21м. Сечения ригеля и стойки - сплошные (в деревянных рамах - в виде клееного многослойного пакета из гнутых досок). В большем диапазоне пролетов применяются металлические рамы, безшарнирные и двухшарнирные.

Таблица 2

По пролетам в зависимости от выбранного материала

Материал	Максимальные рациональные пролеты, м	Строительная высота
Железобетон	12 - 21	1/15-1/25 L

Сталь	24 - 150	1/20-1/30 L
Дерево	12 - 18	1/15 L

Плоские рамы чрезвычайно разнообразны по конструктивной форме. Они могут быть однопролетными, многопролетными, одноярусными (одноэтажными), многоярусными (многоэтажными), симметричными, несимметричными, замкнутыми и т. д.

Пространственные рамы применяются в многоэтажных зданиях и в технологических этажерках под большие нагрузки при действии горизонтальных нагрузок в двух направлениях (например, ветер). Металлические каркасы зданий чаще проектируются в виде плоских рам, устойчивость которых обеспечивается системами связей. Для перекрытий ангаров, гаражей, вокзалов, павильонов и т. п. проектируются однопролетные решетчатые рамы двухшарнирные или с заземленными стойками.

Высота сечения рамы принимается равной $1/15-1/25$ пролета, высота сечения стойки в месте ее примыкания к ригелю - такой же или несколько меньшей.

Назначение арочной конструкции, как и любой вообще в природе конструкции, состоит в том, чтобы противостоять (выдерживать) нагрузкам, которые действуют на нее сверху вниз, преобразуя их в боковое давление (составляющую), действующее вдоль арочного кольца и сжимающее по бокам клинчатые камни, откуда и передается вся нагрузка на пяту арки и собственно фундамент всей конструкции (рис. 11).

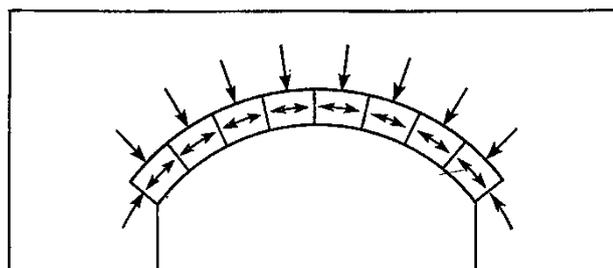


Рис. 11. Распределение нагрузок в арке

Арка принимает на себя вертикальные нагрузки и преобразует их в боковые давления, которые действуют вдоль арочного кольца. Им оказывает противодействие пята арки

Классификация и общие принципы конструирования арочных конструкций

Арка — плоскостная распорная система криволинейного очертания, имеющая ось в виде плоской кривой.

Определяющий ее признак — распор, вызванный несмещаемостью ее опор.

Арки целесообразно использовать для пролетов от 30 до 100 м в зависимости от материала конструкции (таблица 2.3).

Таблица 2.3

Материал	Максимальные рациональные пролеты, м	Строительная высота
Железобетон	24-26	1/30-1/40 L
Сталь	48-180	1/30-1/80 L
Дерево	12-24	1/25-1/30 L

Арочные конструкции можно классифицировать по различным признакам:

По очертанию оси арки:

- параболические;
- круговые;
- эллиптические;
- коробовые (многоцентровые);
- «ползучие» (опоры расположены на разных уровнях);
- треугольные распорные системы (рис.2.1.12).

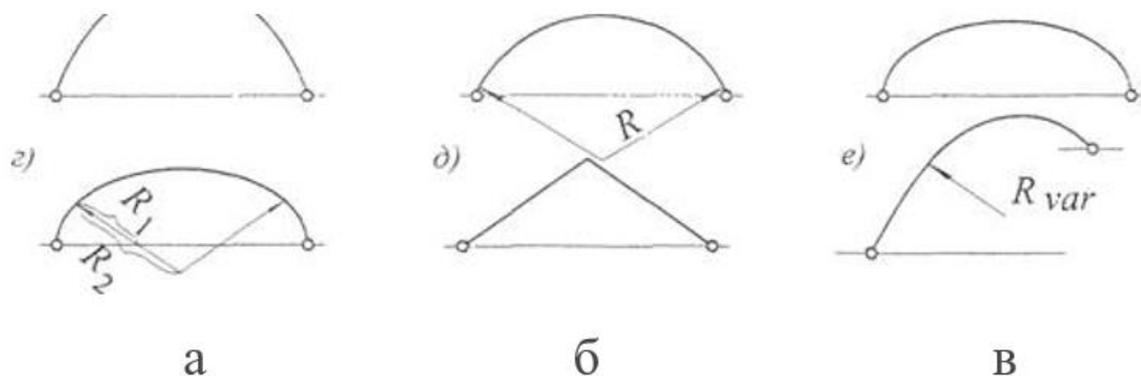


Рис. 12. Очертания осей арок:

- a — параболическая*
- б — круговая*
- в — эллиптическая*
- г — коробовая*
- д — треугольная*
- е — "ползучая"*

Каждый из типов имеет свои преимущества и недостатки, и выбор той или иной конструкции определяется инженером-проектировщиком исходя как из прочностных требований, так и из необходимости применения тех или иных материалов для арки, архитектурных задач, стоимости и местных условий строительства.

Так, например, трёхшарнирная арка является статически определимой системой, в силу чего подобная конструкция не так чувствительна к температурным воздействиям и осадкам опор.

Также трёхшарнирные арочные конструкции удобны с точки зрения монтажных работ и транспортировки, так как состоят из двух отдельных частей. Однако наличие дополнительного шарнира приводит к большой разнице моментов по длине обеих частей, что, соответственно, требует дополнительного расхода материала.

Противоположна ей в этом плане бесшарнирная арка, которая благодаря защемлению пят арок в опорах имеет наиболее благоприятное распределение моментов по длине и может быть изготовлена с минимальными сечениями. Но

защемление в опорах, в свою очередь, приводит к необходимости устройства более мощных фундаментов, арка чувствительная как к перемещениям опор, так и к температурным напряжениям.

Наибольшее распространение получила двухшарнирная арка. Являясь единой статически неопределимой системой, она также имеет хорошее распределение моментов по длине и избавлена от необходимости устройства массивных опор.

При пролетах 80 м и более они, как правило, экономичнее балочных и рамных покрытий.

По материалу:

- деревянные;
- металлические;
- железобетонные.

Пролеты арок могут варьироваться — от 30 до 60 м (в зависимости от материала), а для уникальных арочных покрытий - до 100 м.

Арки применяются в гражданских, промышленных, сельскохозяйственных зданиях и в составе пространственных покрытий в качестве диафрагм оболочек.

Арки имеют преимущества в архитектурном отношении. Однако использование площади помещения у опор при расположении их на уровне пола затруднено из-за малой высоты в этом месте, усложняется также устройство проемов. Для ослабления этих недостатков арки часто проектируются с вертикальными участками над опорами, что приближает эти конструкции по характеру работы к рамам.

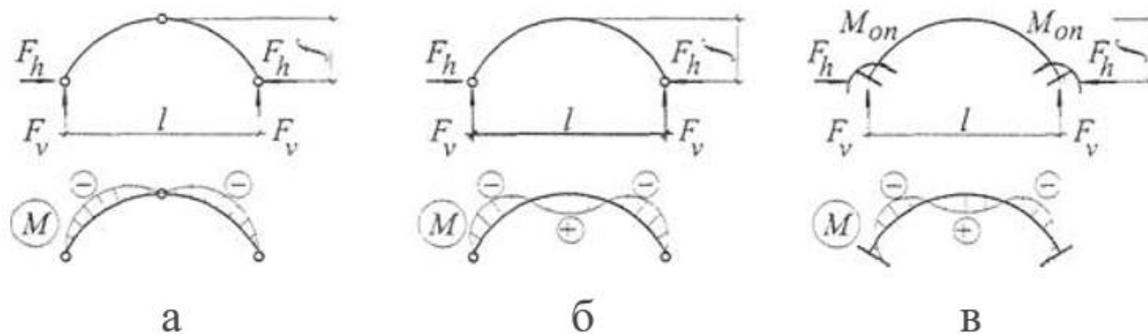


Рис. 13. Расчетные схемы арок и эпюры изгибающих моментов

а — трехшарнирная

б — двухшарнирная

в — бесшарнирная

В конструктивном решении арки бывают сплошного профиля (сплошностенчатые) и сквозные (решетчатые).

В зависимости от величины стрелы подъема арки делятся на пологие - $1/8...1/6$ от пролета и подъемистые - $1/4...1/2$ от пролета.

Контуры арок, очерчиваемые их поясами, могут быть сегментными, серповидными или иметь постоянную высоту.

Арки могут быть с затяжками, воспринимающими распор или без затяжек, распор которых передается на опоры.

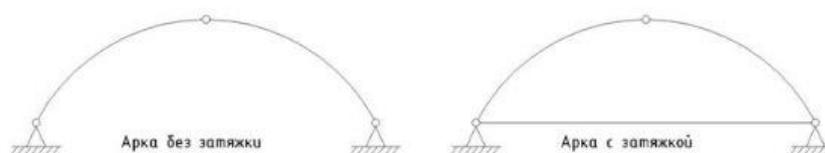


Рис. 14. Арка без затяжки и с затяжкой

Распор в арках воспринимают затяжки, фундаменты или жесткие опорные конструкции (рис. 14).

Пологие арки, как правило, имеют затяжки. Арки подъемистые, устанавливаемые на грунтовом основании, передают распор фундаментам, контрфорсам. При слабых грунтах или значительных распорных усилиях, во избежание сдвига фундамента, устраивают в плоскости пола или под ним дополнительную затяжку. Чем положе арка, тем больше распор.

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

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

Лекция 4. Пространственные стержневые конструкции покрытий общественных зданий

Стержень как конструктивный элемент может быть вариативно расположен в пространстве. Так из стержней можно образовывать пространственные регулярно и нерегулярно направленные несущие системы. Такие пространственные системы работают в разных плоскостях и используются в качестве основных несущих конструкций, способных перекрывать большие пролеты, имея при этом эффектный внешний вид.

4.1 Классификация пространственных стержневых систем

Согласно принятой классификации несущих систем, пространственные стержневые системы являются активными по вектору разложения внешнего силового потока. Они распределяют дискретно усилия внутри системы, заземляя их потом на опоры.

Сила, приложенная к любому узлу пространственной системы и свободно направленная, вызывает усилия в первую очередь в элементах, которые непосредственно примыкают к этому узлу, то есть пространственную реакцию всей системы, что похоже на реакцию сплошной среды.

По конструктивной схеме пространственные системы в основном различают как конструкции, развитые из плоскости, перекрестные фермы, а также однослойные и двухслойные стержневые структурные оболочки.

Развитые из плоскости фермы по типу сечения могут быть трехгранными, четырехгранными и многогранными. Наибольшее распространение получили первые два типа. При этом образование трехгранных ферм происходит за счет развития верхнего пояса, что увеличивает несущую способность и жесткость пролетной конструкции. Ферменные конструкции также могут быть выгнуты по образующей и создавать замкнутые контуры.

Перекрестно стержневые конструкции образуются пересечением плоских ферм в двух, трех и более направлениях. Такие системы имеют достаточно большую строительную высоту, но позволяют покрывать различные по форме

планы, пересекаясь как под прямым, так и под другими углами, образуя соответственно прямоугольные, треугольные и другие в плане ячейки.

Расположение соединенных в узлах стержней в один уровень формирует однослойные стержневые оболочки. Основным достоинством таких конструкций является возможность покрытия практически любых поверхностей. Жесткость и прочность стержневых оболочек регулируется частотой сетки разбивки.

Одним из интересных подвидов однослойных стержневых оболочек являются стержневые складчатые конструкции. Они имеют ограниченное применение из-за пониженной рациональности конструктивной формы и образования снеговых мешков. В то же время такие конструкции являются эффективными, когда внутренний объем должен иметь регулярную складчатую фактуру исходя из архитектурных или функциональных требований. Двухслойные оболочки образуются путем соединения двух стержневых уровней регулярными промежуточными соединительными элементами.

Полученные системы могут быть локализованы в виде плит, оболочек, складок и т. д. любой конфигурации, и способны перекрывать большие пролеты, имея при этом значительную жесткость и светопрозрачность.

Такие конструкции также принято называть структурными или же сокращенно «структурами». Для обеспечения геометрической неизменяемости, пространственные стержни объединяют в пирамиды, которые могут иметь квадратное, треугольное или шестиугольное основание. Соответственно структуры могут быть построены на основе пентаэдров, тетраэдров или гексаэдров.

Основными преимуществами однослойных и двухслойных стержневых структурных конструкций, благодаря которым они нашли широкое применение, являются: архитектурная выразительность и гибкость в использовании относительно создания различных конструктивных форм, адаптивность в перепланировке; высокая пространственная жесткость,

несущая способность и надежность; свобода планировочных решений и возможность формирования открытого функционального пространства; унификация и типизация элементов за счет регулярности их расположения; индустриальность изготовления и возможность поставки на место строительства поэлементно малогабаритным транспортом и технологичность сборки и монтаж укрупненными блоками, а также мобильность.

Недостатками структур является повышенная трудоемкость изготовления узлов и металлоёмкость по сравнению с традиционными решениями быстровозводимых зданий. Вместе с тем структурные конструкции остаются единственно возможным решением для ряда архитектурных и особенных условий строительства.

4.2. Основы проектирования пространственных стержневых систем

Элементы развитых из плоскости и перекрестных ферм рассчитывают так же, как и плоских на растяжение и устойчивость, с учетом пространственного распределения усилий. Перекрестные фермы воспринимают силовой вектор как единые стержневые плиты. Конструкция и применимость таких систем определяется в основном пролетом, действующими нагрузками и возможной строительной высотой.

Размер стороны поясной ячейки в покрытиях небольшого пролета обычно принимают 1,2-3 м, а в большепролетных – 6-12 м. Перекрестные фермы имеют обычно соотношение строительной высоты к пролету $h/l = 1/15-1/30$.

Применяемые типы сечений при этом такие же, как и в обычных фермах. Однослойные стержневые структуры, как правило, выполняются из круглых труб, либо чаще – из гнutosварных замкнутых профилей прямоугольного сечения. Из-за пониженной жесткости однослойные стержневые оболочки перекрывают пролеты в основном до 20-30 м.

При расчете обычно считают, что структурные покрытия имеют шарнирные примыкания в узлах. Поэтому их элементы рассчитывают только на центральное растяжение или устойчивость при сжатии в зависимости от

действующих усилий. Также проверяют максимально допустимые прогибы всей конструкции.

Структурные конструкции не имеют характерных для традиционных решений связей, поскольку обладают общей пространственной жесткостью. Двухслойные стержневые структуры обеспечивают повышенную жесткость и унификацию элементов получаемых конструкций. Для структур рекомендуется соотношение строительной высоты к пролету $h/l = 1/20-1/40$. Это позволяет значительно уменьшить эксплуатационные затраты в отапливаемых помещениях.

С другой стороны, значительное уменьшение высоты структур приводит к квадратичному возрастанию количества элементов и узлов, что вызывает дополнительные трудозатраты в изготовлении и монтаже. Поскольку элементы пространственных стержневых покрытий, как правило, по условиям закрепления должны соответствовать требованиям равноустойчивости во всех плоскостях, для них используют сечения из круглых горячекатаных или прямошовных электросварных труб.

Чтобы обеспечить работу структур по вектору, внешний силовой поток должен быть концентрирован только в узлах. Это не всегда возможно, так как в традиционных решениях профилированный настил должен опираться по всей плоскости несущей конструкции. Из-за этого могут применяться дополнительные прогоны, передающие нагрузки точно в узлы структур.

Следует заметить, что применение прогонов практически нивелирует эффективность структурных покрытий. Поэтому применяют комбинированные конструкции, в которых верхний пояс является неразрезным из гнутосварных замкнутых профилей и воспринимает поперечные усилия.

Структурные конструкции, как и все многосвязные системы, имеют значительную живучесть – способность не разрушаться и сохранять основные эксплуатационные качества при исключении из работы некоторых элементов за счет перераспределения усилий. Таким образом, структуры хорошо

защищены от опасности прогрессирующего разрушения, когда конструкция разрушается из-за одного элемента по принципу домино.

Большое значение в проектировании пространственных стержневых систем играет тип опирания. В зависимости от действующих усилий, различают три типа опор пространственных систем:

- Точечные опоры на колонны со стержневыми капителями или без них.
- Множественные опоры с помощью рядов колонн или ветвей колонн.
- Опирание на подстропильные конструкции либо сплошные стены.

Одной из наибольших из существующих структур является покрытие пассажирского терминала аэропорта Тайпей (Китай) с размерами в плане 210x170 м. В нем применены колонны со стержневыми капителями, переходящими в покрытие.

На рис. показан пример системы перекрестных ферм с треугольной ячейкой, организованной над пешеходной улицей, с опиранием на существующие здания.

4.3. Пространственные стержневые системы как конструктивный инструмент архитектурной формы

Пространственные стержневые системы дают значительные возможности для достижения высокой архитектурной выразительности. Они нашли применение во многих отраслях народного хозяйства – как покрытия выставочных, торговых залов, спортивных стадионов; как перекрытия многоэтажных быстровозводимых зданий и конструкции атриумов, кинотеатров, отелей, оранжерей и т. д.

Как пример можно привести современный летний амфитеатр «Славянский базар» в г. Витебске (Беларусь), который имеет пространственное структурное покрытие сложной формы с размерами в плане 110x60 м и ячейкой поясов 3x3 м. Светопрозрачное покрытие выполнено из тонированного поликарбоната, закрепленного к верхнему поясу.

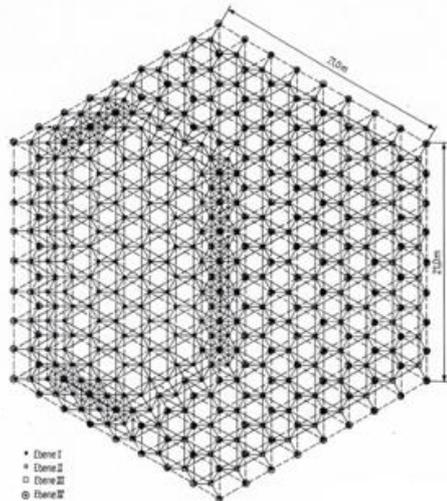
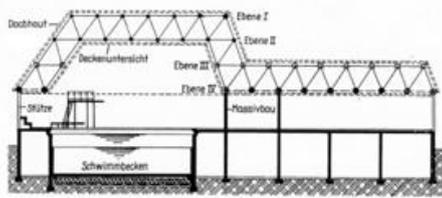
Футбольный стадион в г. Донецке перекрыт структурным покрытием MERO-TSK по консольным фермам с переменным вылетом от 16 до 57 м, что создает его характерную узнаваемую форму (рис. 1).



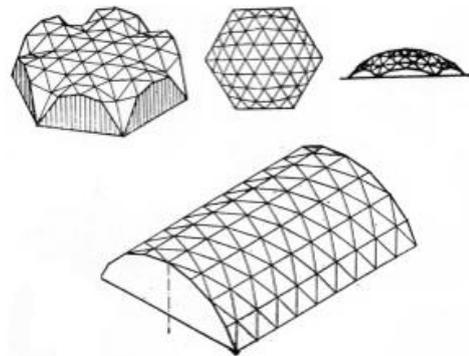
Рис. 1. Футбольный стадион. г. Донецк (Украина)

Пространственные перекрестные стержневые системы являются одним из наиболее интересных и перспективных конструкций для применения в покрытиях и перекрытиях общественных зданий.

Перекрестные системы могут быть плитообразными, т.е. иметь пояса параллельными друг другу и горизонтальными, а могут быть и вспарушенными, т. е. по существу относиться к разнообразным стержневым оболочкам (рис. 2 а, б). К перекрестным конструкциям относятся пространственно работающие перекрестные балки, фермы, рамы и арки.



а



б

Рис. 2. Примеры пространственных перекрестных систем

а - перекрестная плитообразная системы

б - оболочки и купола

Все эти архитектурно разнообразные конструкции уже нашли широкое применение в строительной практике как у нас в России, так и за рубежом.

Особо следует отметить тот факт, что стержни пространственных конструкций могут быть выполнены не только из стали, но и из древесины. Это относится и к перекрестным клееным балкам прямоугольного сечения, которые нашли широчайшее применение особенно в современной Германии.

Естественно, что перечисленное разнообразие конструктивных форм, породило очень большое многообразие конструктивных решений узлов.

Пространственные конструкции известны человечеству с древнейших времен. Шалаши, юрты давно применялись нашими предками. Сама природа в виде морских раковин, трав в виде зонтичных структур, жесткого панциря у черепах и т. п. направляет пытливую мысль человека на использование

естественных природных преимуществ пространственных систем для целей строительства.

Преимущества пространственных конструкций можно сформулировать в нескольких основных тезисах:

1. пространственность работы;
2. надежность от внезапных разрушений;
3. снижение строительной высоты;
4. возможность перекрытия больших пролетов;
5. свобода внутренней планировки;
6. архитектурная выразительность;
7. удобство размещений линий подвешенного транспорта;
8. высокая транспортабельность конструкций;
9. возможность унификации элементов.

Имеется еще ряд преимуществ, связанных с быстротой возведения и высокой транспортабельностью, благодаря чему их выгодно применять в труднодоступных и удаленных районах нашей страны.

Пространственность работы конструкции позволяет выгодно применять её при больших сосредоточенных нагрузках, особенно при воздействии подвижных сосредоточенных сил. При этом строительная высота покрытия или перекрытия может быть очень небольшой ($1/15$ - $1/20$ от пролета).

Любая структура состоит из большого числа повторяющихся кристаллов: октаэдров, тетраэдров, кубо-октаэдров их частей и плоских «кристаллов» в разнообразных сочетаниях (рис. 4). Каждый из этих отдельных кристаллов является геометрически неизменяемой системой, что принципиально важно, поскольку любая строительная конструкция должна оставаться геометрически неизменяемой системой.

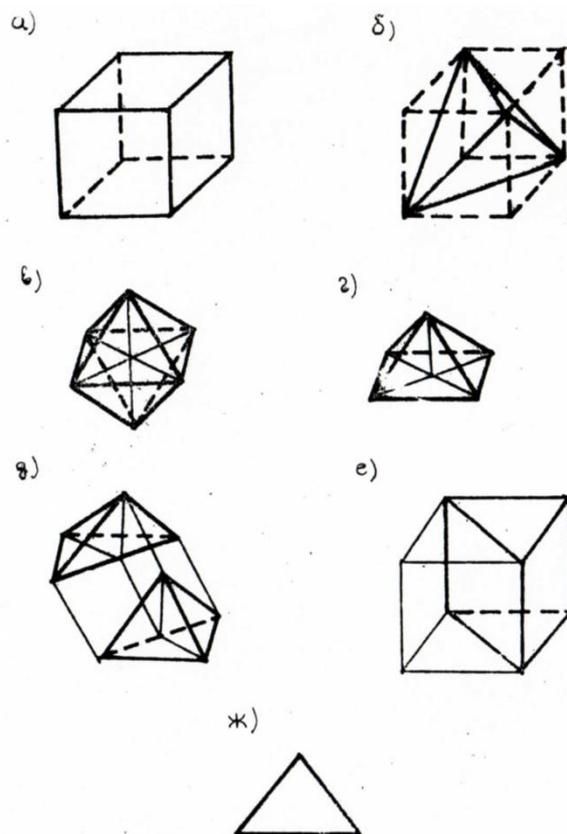


Рис. 3. Стержневые кристаллы:

а – куб (С)

б – тетраэдр (Т)

в – октаэдр (О)

г – полуоктаэдр (1/20)

д – четверть октаэдра (1/40)

е – половина куба

ж – плоский равносторонний треугольник

Благодаря большой повторяемости стержней и узлов заводское производство может быть полностью автоматизировано. Вследствие этого пространственные несущие системы являются индустриальными конструкциями.

4.4 Виды и классификация структурных конструкций. Их достоинства и недостатки

Структурами, или структурными конструкциями, называют пространственные стержневые системы, образованные стержнями, соединяющимися в узлах и расположенными в пространстве и строгом

геометрическом порядке. Такие стержневые системы принято также называть **регулярными**.

Структурные конструкции не ограничиваются плоскими стержневыми плитами. Элементарные ячейки можно "надстраивать" в любом направлении в пространстве. Следовательно, основой для создания структурных конструкций является **структурно организованное пространство**. При проектировании из этого структурного пространства можно вычленять желаемую архитектурно-конструктивную форму, "отбрасывая" лишние элементы. Многообразие форм при этом может ограничиваться лишь воображением архитектора, знанием законов структурной организации пространства и возможностями узловых соединений.

Основные виды структурных конструкций показаны на рис. 4. Все они могут быть образованы с использованием различных типов элементов и решеток.

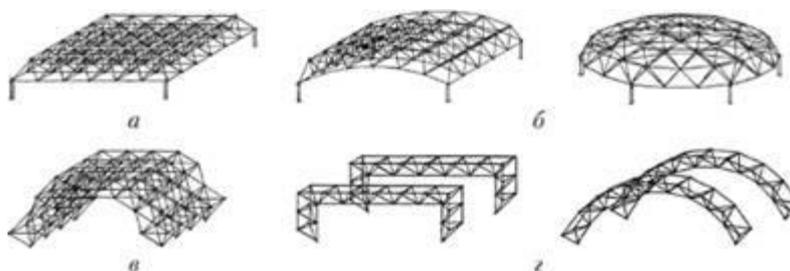


Рис. 4. Виды структурных конструкций

а – плоские системы

б – криволинейные системы

в – складчатые системы

г – линейные системы

Классификация структурных конструкций обычно производится по типу геометрических систем, лежащих в их основе.

Классические структуры по характеру своей работы являются многократно статически неопределимыми пространственными фермами, элементы которых работают только на растяжение или сжатие. Благодаря высокой степени статической неопределимости (наличию избыточных элементов) структуры способны к перераспределению усилий. Распределение

нагрузки внутри структуры происходит пропорционально жесткости элементов, менее жесткие элементы воспринимают меньшую часть нагрузки. В случае выхода из строя одного или нескольких элементов их внутренние продольные силы перераспределяются между смежными элементами пропорционально их жесткости, поэтому структурные конструкции обладают важным качеством живучести, т.е. способностью сопротивляться прогрессирующему разрушению.

Строительная высота структурной плиты может составлять всего 3% ее пролета, хотя экономически целесообразна высота в 5% пролета или 11% для консольной плиты. Наиболее экономичный размер модуля (ячейки) варьируется между 7 и 14% пролета. Здесь учитывается тот факт, что при уменьшении размеров элемента начинают существенно возрастать количество элементов и трудоемкость их монтажа.

Недостатки структурных конструкций являются логическим продолжением их достоинств: сложность узлов и их дороговизна; высокие требования к точности изготовления элементов. Для систем со сварными узловыми соединениями высока трудоемкость монтажной сборки и сварки узла.

Основная трудность развития пространственных систем связана с решением узловых сопряжений. Узел является наиболее сложным и ответственным элементом конструкции.

4.5. Элементы и узловые соединения структурных конструкций

Основным материалом структурных конструкций является металл, однако в них могут быть использованы и другие материалы – дерево, железобетон, пластики. Например, весьма выгодными являются металлодеревянные структурные конструкции, стержневые элементы которых выполняются из деревянных брусев, а узлы и крепежные детали – из металла. Существуют комбинированные системы, в которых нижние поясные элементы и раскосы выполняются из металла, а верхний пояс заменен ребристой железобетонной плитой.

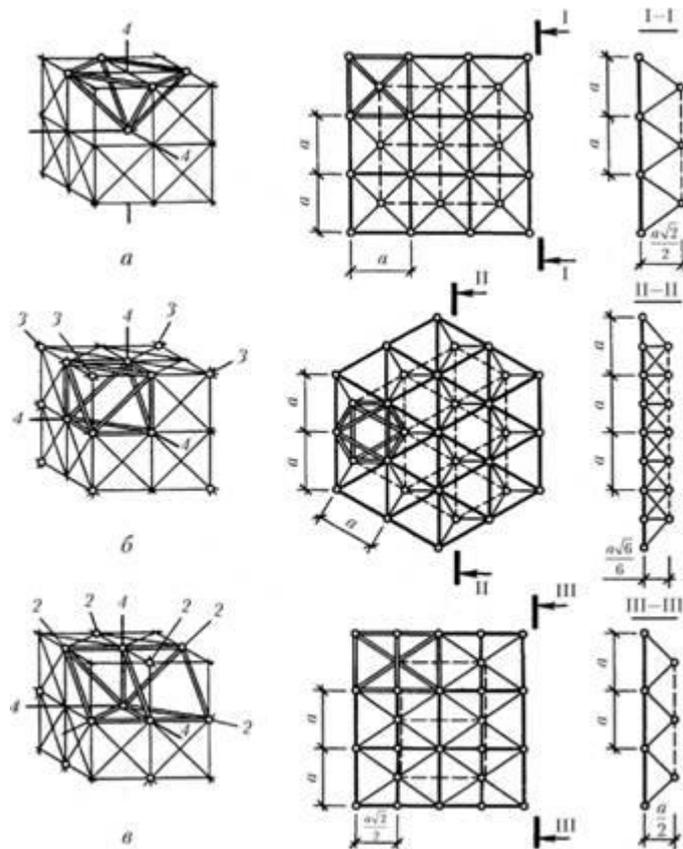


Рис. 5. Построение структурных конструкций по законам кристаллографической симметрии

а – с квадратными ячейками

б – с треугольными ячейками

в – с прямоугольными ячейками

2 – оси симметрии куба второго порядка

3 – третьего

4 – четвертого

Металлические стержни структурных конструкций выполняют из труб, уголков, швеллеров или двутавров.

Конструкции узловых элементов чрезвычайно разнообразны и зависят от геометрии стержневой системы и типа ее стержневых элементов. Узловые соединения могут выполняться на сварке или на болтах. Рассмотрим несколько основополагающих типов узлов, которые послужили прототипами для большинства применяемых в настоящее время узловых соединений структурных конструкций.

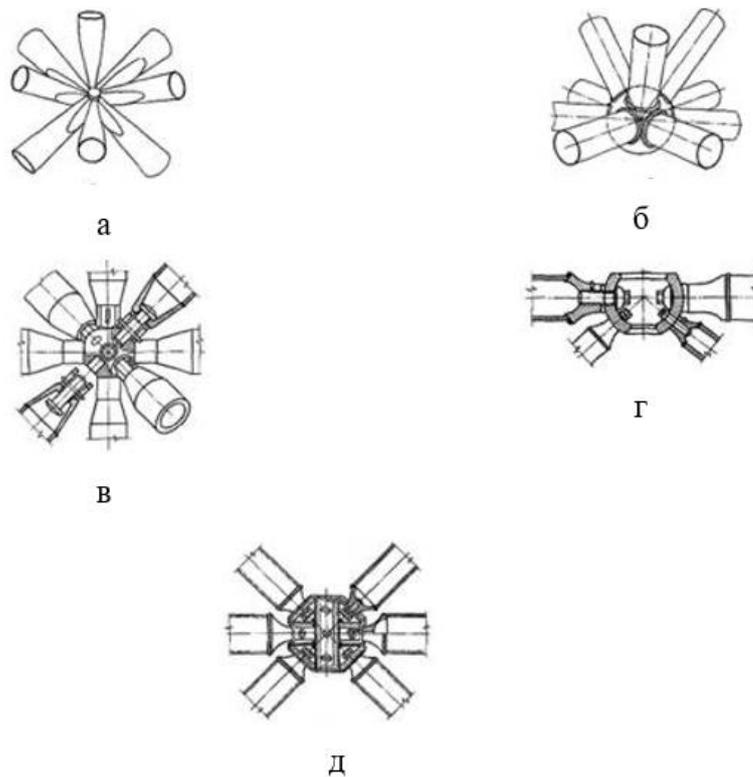


Рис. 6. Конструкции узловых элементов структурных покрытий

а - сварной узел ЦНИИСК (СССР)

б - сварной узел "Октаплатт" (ФРГ)

в - узел "Меро"

г - узел "Ниппон Стил"

д - узел "Октант"

Сварные соединения обладают повышенной жесткостью, малой деформативностью, однако они требуют высокой точности изготовления элементов и больших трудозатрат при сварке на монтаже. Узел ЦНИИСК имеет высокую прочность и наименьший расход материала – всего лишь до 3% веса стержневых элементов (рис. 6, а). Узел "Октаплатт", хотя и обладает большой универсальностью, весьма трудоемок, так как имеет большую длину сварных швов (рис. 6, б).

Болтовые соединения с болтами, располагающимися по оси элемента, имеют минимальную трудоемкость при монтаже. Болты в них работают по осевые усилия, что позволяет наиболее полно использовать их прочность. Узел «МЕРО» (рис. 6.в) был предложен в 1942 году инженером

Менгеринхаузенем в Германии. С применением именно этого узла в Югославии был построен стадион «СПЛИТ», который представляет собой исключительной красоты стержневую оболочку пролетом более 200 метров. Этот узел отличается универсальностью и быстротой сборки, однако он металлоемок (до 20% веса стержней) и дорог. Он послужил основой целого ряда усовершенствованных конструкций узлов.

Узел системы "Ниппон Стил" (рис. 6.2), разработанный в Японии, представляет собой усеченный полый шар, к которому крепятся трубчатые элементы при помощи болтов, ввинчиваемых изнутри узла в наконечники стержней при помощи специального инструмента. Узел "Ниппон Стил" универсален, так как может принимать стержни под самыми разными углами. Отверстия в нем просверливаются при помощи высокоточных роботов.

Узел "Октант" (рис. 6.д), разработанный в МАрХИ, объединяет в себе достоинства узлов "Меро" и "Ниппон Стил". Он может принимать стержни восемнадцати направлений, что дает богатые возможности формообразования. При этом он обладает малой материалоемкостью, так как изготавливается из штампованных фасонки на сварке. Стержневые элементы прикрепляются к узлу на болтах, ввинчиваемых в наконечник стержня со стороны узла.

Для соединения стержней из открытых профилей (легкие гнутые швеллеры) применяются узлы, прототипом которых является узел "Юпистрат" (США). Узел представляет собой штампованную фасонку, к которой на болтах внахлестку крепятся стержни. Болты при этом работают на срез.

Интересны безболтовые соединения структурных конструкций, позволяющие значительно сократить трудоемкость и сроки монтажа.

Наиболее известна система "Триодетик" с узлом, изготовленным из прессованных алюминиевых профилей. Стержни, выполненные из алюминиевых труб, могут устанавливаться под любым углом. Для этого концы стержней обжимаются на автоматических станках. Система "Триодетик" используется в структурных плитах.

Каждый тип узла имеет свои преимущества и недостатки. Именно технические характеристики того или иного узлового сопряжения предопределили и область рационального применения несущих пространственных конструкций, и величину ее наибольшего пролета.

Плитообразные структурные конструкции имеют самые разнообразные условия опирания (рис. 7). Каждое из конкретных условий опирания – это результат многочисленных исследований и конструктивных проработок, выполненных в различных странах. Практически все из указанных на рис. 6 условий опирания нашли практическое применение при реальном возведении зданий.

Применительно к общественным зданиям и сооружениям спортивного назначения средних и больших пролетов рекомендуется опирание покрытий по периметру. При многоточечном опирании, структурные конструкции получаются еще легче, поэтому для большепролетных покрытий представляет интерес сочетание структурных плит с арочными подвесными системами. Эти типы систем обеспечивают взаимную устойчивость арок и стабилизацию вант.

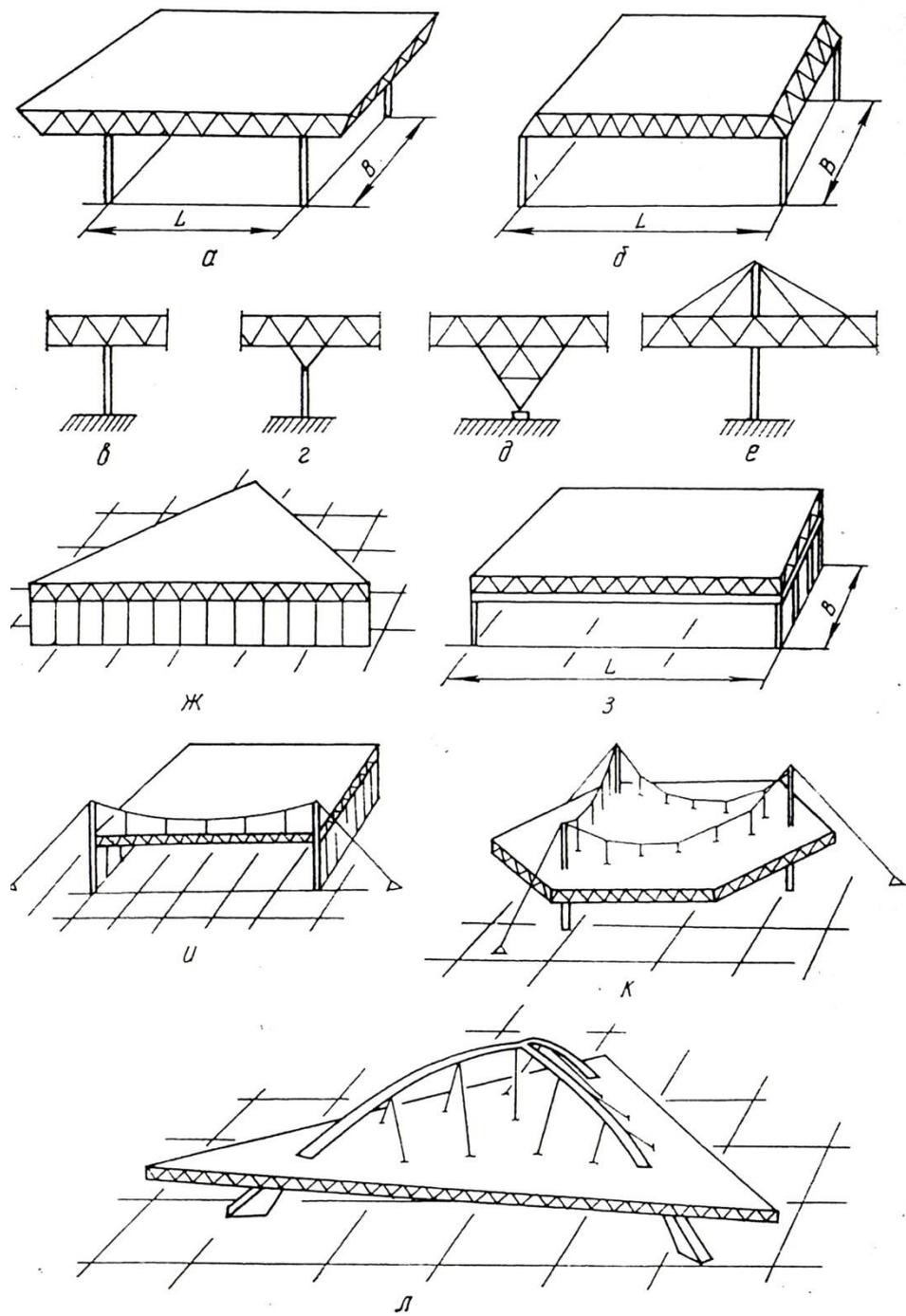


Рис. 2.7. Опираие структурных конструкций

Лекция 5. Проектирование тонкостенных пространственных конструкций покрытий

Оболочкой называется пространственная конструкция, форма которой образована перемещением образующей по направляющей.

Тонкостенные оболочки являются одним из видов пространственных конструкций и используются в строительстве зданий и сооружений с помещениями больших площадей (выставочных павильонов, стадионов, рынков и т.п.). Тонкостенная оболочка представляет собой изогнутую поверхность, которая при минимальной толщине и соответственно минимальной массе и расходе материала обладает очень большой несущей способностью, потому что благодаря криволинейной форме действует как пространственная несущая конструкция.

Простой опыт с листом бумаги показывает, что очень тонкая изогнутая пластинка приобретает благодаря криволинейной форме бóльшую сопротивляемость внешним силам, чем та же пластинка плоской формы. Жесткие оболочки могут возводиться над зданиями любой конфигурации в плане: прямоугольной, квадратной, круглой, овальной и т.п. Даже весьма сложные по конфигурации конструкции могут быть разделены на ряд однотипных элементов. На заводах строительных деталей создаются отдельные технологические линии для изготовления отдельных элементов конструкций.

По конструктивным схемам жесткие оболочки делятся на оболочки положительной и отрицательной кривизны, зонтичные оболочки, своды и купола. Оболочки выполняются из железобетона, армоцемента, металла, дерева, пластмасс и других материалов, хорошо воспринимающих сжимающие усилия. Первая железобетонная купол-оболочка была построена в 1925 г. в Йене. Диаметр ее составлял 40 м, это равно диаметру купола св. Петра в Риме. Масса этой оболочки оказалась в 30 раз меньше купола собора св. Петра. Это первый пример, который показал перспективные возможности нового конструктивного принципа.

Появление напряженно-армированного железобетона, создание новых методов расчета, измерение и испытание конструкций с помощью моделей наряду со статической и экономической выгодой их применения – все это способствовало быстрому распространению оболочек во всем мире.

Оболочки имеют и еще ряд преимуществ: в покрытии они выполняют одновременно две функции: несущей конструкции и кровли; они огнестойки, что во многих случаях ставит их в более выгодное положение даже при равных экономических условиях; они не имеют себе равных по разнообразию и оригинальности форм в истории архитектуры; наконец, по сравнению с прежними сводчатыми и купольными конструкциями, во много раз превзошли их по масштабам перекрываемых пролетов. Если строительство оболочек в железобетоне получило достаточно широкое развитие, то в металле и дереве эти конструкции имеют пока ограниченное применение, так как не найдены еще достаточно простые свойственные металлу и дереву, конструктивные формы оболочек.

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

По геометрической форме оболочки можно классифицировать в зависимости от величины Гауссовой кривизны.

Гауссова кривизна — мера искривления поверхности в окрестности какой-либо её точки.

Обозначим нормальные кривизны в *главных направлениях* (*главные кривизны*) в рассматриваемой точке поверхности k_1 и k_2 (1). Величина

$$K = k_1 \times k_2 \tag{1}$$

Величина называется **гауссовой кривизной, полной кривизной** или просто **кривизной** поверхности (рис. 1).

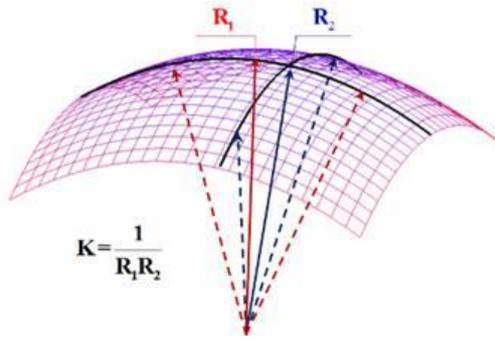


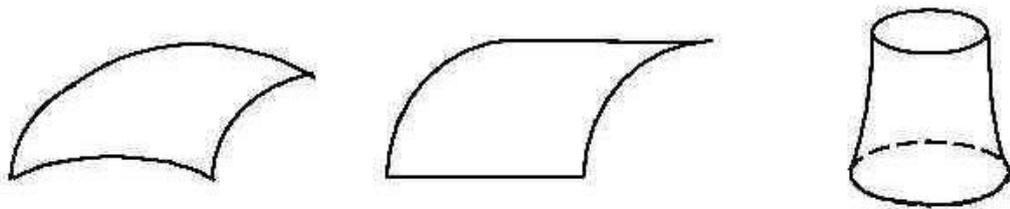
Рис. 1. Схематичное изображение величин Гауссовой кривизны

Оболочки бывают положительной, нулевой и отрицательной гауссовой кривизны (рис. 1).

$\Gamma > 0$ – оболочки положительной гауссовой кривизны

$\Gamma = 0$ – оболочки нулевой гауссовой кривизны

$\Gamma < 0$ – оболочки отрицательной гауссовой кривизны



$\Gamma = F(\alpha, \beta)$ - оболочка переменной гауссовой кривизны

Рис. 2. Оболочки с различной гауссовой кривизной

Классификация жестких сплошных оболочек

В середине прошлого столетия жесткие сплошные оболочки начали изготавливать из железобетона, немного позже появились конструкции из стали, лидерство которых в настоящее время неоспоримо.

Классификация жестких сплошных оболочек (рис. 3)



Рис. 3 Классификация жестких сплошных оболочек

Оболочки можно **классифицировать** (рис. 4):

по очертанию срединной поверхности: а) складки (рис. 4, а) - с различной формой поперечного сечения, в том числе складчатые своды и оболочки; б) цилиндрические поверхности; в) своды; г) купола;

по форме перекрываемой площади (при опирании на стены, фундаменты или отдельные опоры) и конструктивным особенностям:

- а) на круглом плане (рис. 4, д);
- б) на овальном (эллиптическом) плане;
- в) на квадратном плане;
- г) на прямоугольном плане (рис. 4, а, б, е);
- д) на треугольном плане;
- е) на полигональном плане;

- ж) кольцевые тороидальные и составные оболочки;
- з) неразрезные многоволновые оболочки, многогранники и складки;
- и) неразрезные многопролетные оболочки, многогранники и складки;
- к) висячие оболочки (рис. 4, з);
- л) шедовые конструкции;
- м) то же, что и в подпунктах а - л, но гладкие или ребристые;
- н) консольные оболочки, складки и многогранники;

по способу изготовления и возведения:

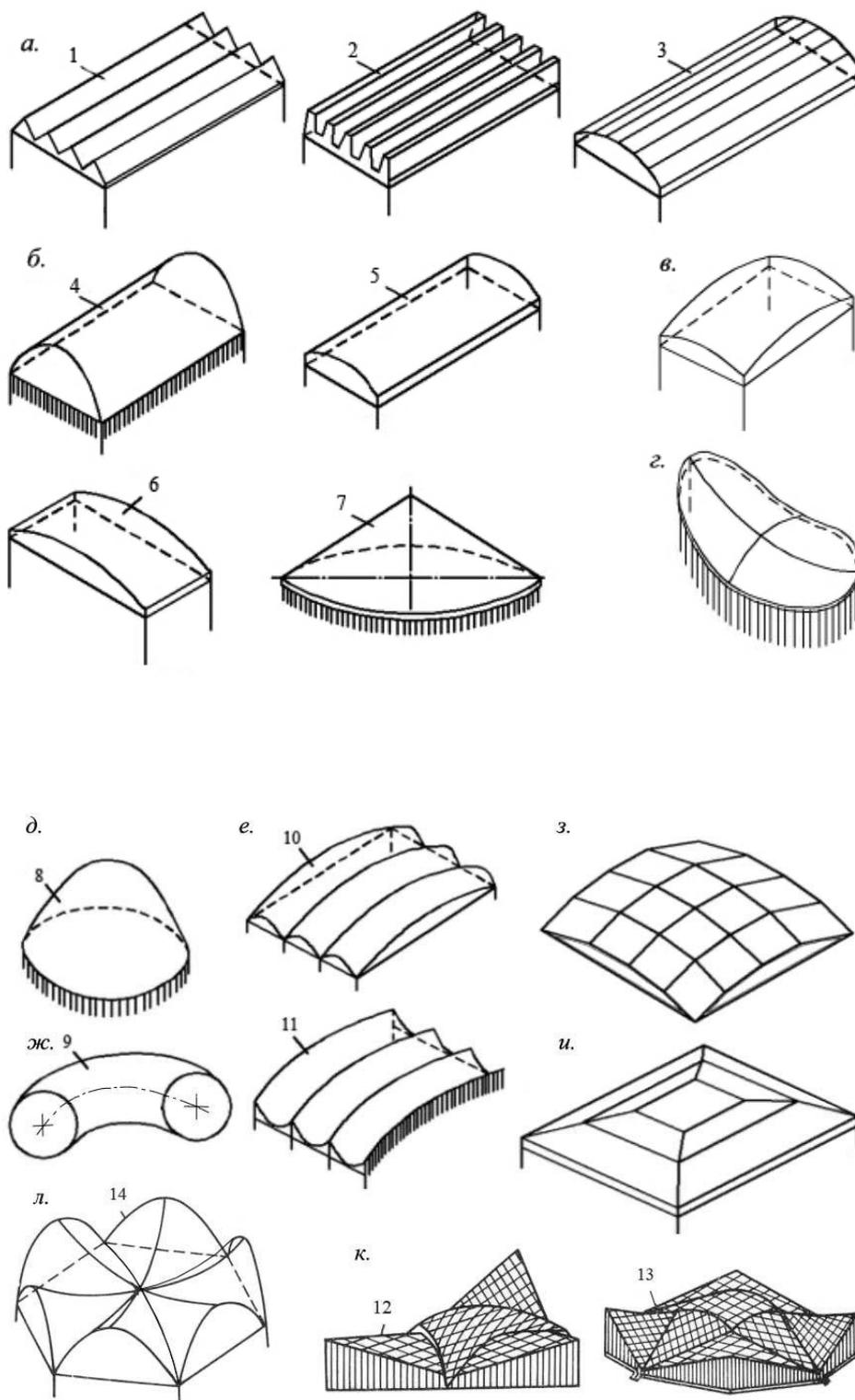
- а) монолитные;
- б) сборно-монолитные (когда сборные элементы служат несущей опалубкой или, например, бортовые элементы сборные, а плита-оболочка - монолитная);
- в) сборные из плоских, цилиндрических и других элементов;
- г) панели-оболочки и панели-складки, изготавливаемые и монтируемые в готовом виде (как правило, не требующие расчетного замоноличивания швов между ними) и имеющие размеры, соответствующие пролету между опорами и габаритам, установленным для данных условий изготовления, перевозки и монтажа;

по виду сечения: гладкие; ребристые;

по толщине: тонкие и толстые; постоянной и переменной толщины;

по количеству слоев: однослойные; многослойные;

по виду поверхности: сплошные; сетчатые (перекрестно-стержневые оболочечного типа; мембранные);



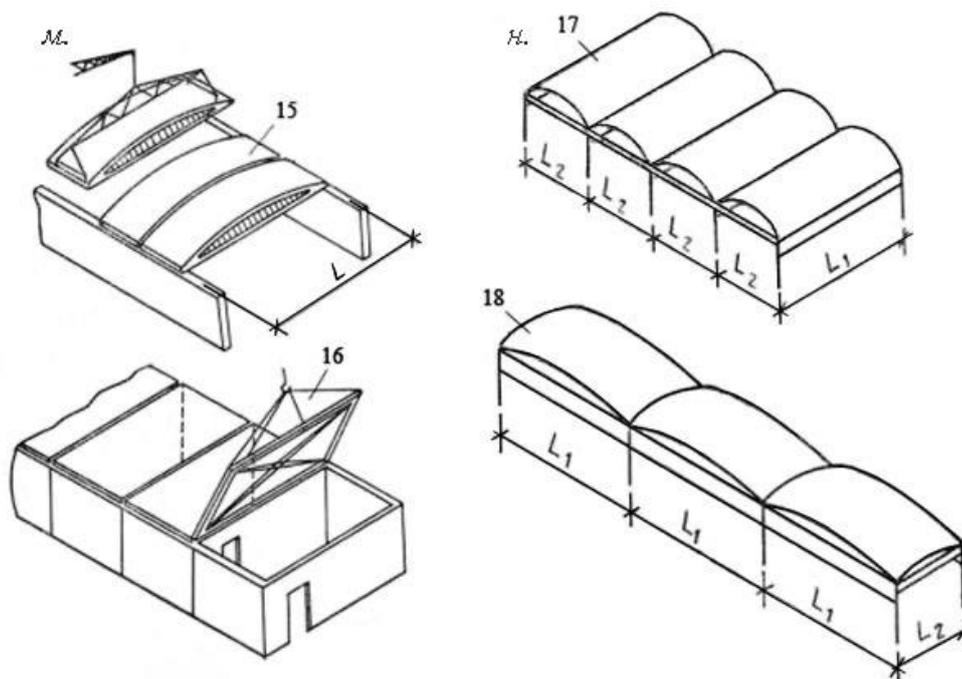


Рис. 4. Схемы тонкостенных железобетонных пространственных конструкций покрытий и перекрытий

а — призматические складки

б — оболочки нулевой гауссовой кривизны

в — оболочки положительной гауссовой кривизны

г — то же, отрицательной

д — оболочки с вертикальной осью вращения

е — оболочки с горизонтальной осью вращения

ж — тороидальные оболочки разнозначной гауссовой кривизны

з — многогранники

и — то же, шатрового типа

к — составные оболочки

л — то же, из гиперболических треугольных сводов

м — панели-оболочки; КЖС размером на пролет покрытия и вспарушенные оболочки размером на ячейку здания

н — неразрезные оболочки; 1 — балочная складка с треугольным поперечным сечением; 2 — то же, с трапецевидным

3 — то же, со сводчатым (призматические выпуклые складки)

4 — свод-оболочка

5 — длинные цилиндрические оболочки

6 — то же, короткие

7 — коническая оболочка

8 — купол

9 — тороидальная оболочка

10 — бочарные своды

11 — гиперболические оболочки

12 — покрытие с треугольным планом из оболочек положительной и отрицательной гауссовой кривизны

13 — то же, с полигональным планом

14 — покрытие из составных гипаров

15 — панели-оболочки КЖС

16 — вспарушенные плиты-оболочки

17 — многоволновые оболочки

18 — многопролетные оболочки

по материалам, из которых они возводятся:

- а) железобетонные (в том числе с применением легких и других бетонов);
- б) комбинированные, состоящие из железобетонной плиты и металлических диафрагм или бортовых элементов;
- в) комплексные, состоящие из железобетонной пространственной конструкции и эффективных теплоизоляционных, гидроизоляционных и других материалов;
- г) армоцементные и сталефибробетонные;
- д) металлические (мембранные системы);
- и) деревометаллические;

по Гауссовой кривизне оболочки и своды бывают:

- нулевой гауссовой кривизны - цилиндрические и конические оболочки и цилиндрические своды;
- положительной гауссовой кривизны - сферические оболочки и купола, очерченные по поверхностям вращения с вертикальной осью; оболочки, очерченные по поверхности переноса в виде эллиптического параболоида, круговой поверхности и бочарные своды;
- отрицательной гауссовой кривизны - оболочки, очерченные по линейчатым поверхностям гиперболического параболоида (гипары); и по поверхностям вращения с горизонтальной осью;

- разнозначной гауссовой кривизны - тороидальные оболочки; поверхности которых имеют на некоторых участках положительную, а на других - отрицательную кривизну, коноиды (поверхность которых имеет в большей части нулевую гауссову кривизну) и параболические оболочки на плоском контуре (в основном положительной кривизны), угловые участки которых имеют отрицательную гауссову кривизну и др.

Классификация металлических конструкций возможна:

по разновидности материала: сталь; алюминий;

по конструктивному решению: висячие; сетчатые однослойные; сетчатые двухслойные (структуры); мембранные; ребристые;

по сечению опорных конструкций: двутавровые; швеллеры; трубчатые;

по типу соединений металлических элементов в узлах: болтовое; сварочное; заклепочное.

Классификация деревянных конструкций возможна:

по комбинации материалов: деревянные; клееные; клефанерные; сталедревянные;

по конструктивным особенностям: распорные своды при прямоугольном плане и опирании на продольные стены; складки и своды оболочки, опёртые в основном только на поперечные торцевые стены, а также оболочки двойкой положительной или отрицательной кривизны; купола, опёртые по контуру круглого или многоугольного здания.

К пространственным **деревянным конструкциям** или, как их часто принято называть, к покрытиям-оболочкам относят покрытия с изогнутой поверхностью, в которых все составляющие элементы работают совместно как единое целое. Оболочки благодаря такой поверхности менее материалоемки, чем плоские конструкции и являются совмещённым видом покрытия, т.к. способны выполнять одновременно несущую и ограждающую функции. Они могут иметь многообразные формы различного функционального назначения.

К основным конструктивным типам пространственных деревянных конструкций относятся: распорные своды при прямоугольном плане и опирании на продольные стены; складки и своды оболочки, опёртые в основном только на поперечные торцевые стены, а также оболочки двойкой положительной или отрицательной кривизны; купола, опёртые по контуру круглого или многоугольного здания.

Указанные типы деревянных конструкций могут быть выполнены в виде:

- тонкостенных оболочек;
- ребристых складок и оболочек, в которых для увеличения жесткости тонкостенные элементы усилены ребрами сетчатых систем.

Своды

Своды представляют собой несущую железобетонную пространственную конструкцию покрытия в виде изогнутой вдоль оси гладкой или волнистой плиты, обладающей распором и работающей на сжатие с изгибом. Такие покрытия совмещают в себе несущие, ограждающие, а иногда и гидроизолирующие функции. Сводчатые покрытия проектируются, как правило, из сборных железобетонных элементов, и редко – из металла и дерева для прямоугольных в плане однопролетных или многопролетных зданий. По продольным краям (вдоль образующей) своды могут опираться на колонны, стены или непосредственно на фундаменты. Распор сводов воспринимается затяжками (рисунок 5) из стали или железобетона, поперечными стенами, рамами, контрфорсами или фундаментами (рис. 6). При проектировании сводов следует учитывать податливость элементов или конструкций, воспринимающих распор. Уменьшение податливости поперечных стен, контрфорсов и фундаментов может быть обеспечено установкой затяжек, расположенных ниже уровня пола. Очертание свода рекомендуется принимать по дуге окружности, параболе, цепной линии или другим близким к ним кривым. Своды призматического (полигонального) очертания состоят из прямолинейных участков, вписанных в дугу указанных выше кривых. Очертание сводов

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

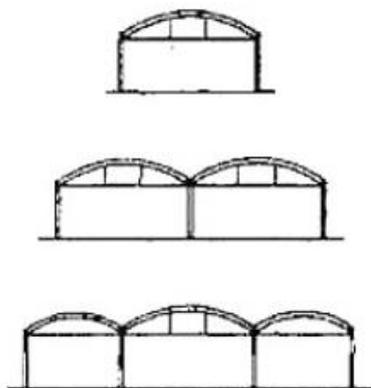


Рис. 5. Своды с затяжками

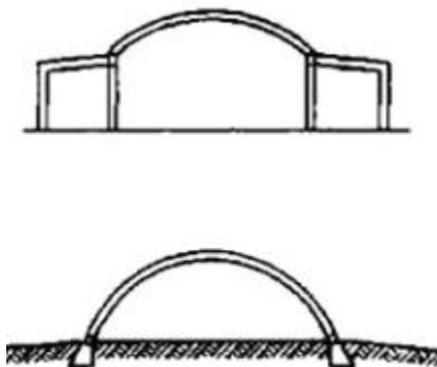


Рис. 6. Своды без затяжек

Очертание сводов, секции которых состоят из трех и большего числа элементов рекомендуется принимать по дуге окружности. Стрелу подъема сводов (в ключе) в зависимости от назначения и размеров перекрываемого помещения, способов восприятия распора, архитектурных требований и других условий рекомендуется принимать в пределах от $1/2$ до $1/10$ величины перекрываемого пролета. По форме поперечного сечения (вдоль образующей) сводчатые покрытия делятся на цилиндрические (с прямолинейной образующей верхней поверхности), складчатые и волнистые. Придание поперечному сечению сводов складчатого (треугольного, трапециевидного) или волнистого

очертания повышает несущую способность сводчатых покрытий и позволяет существенно увеличить их пролет. По условиям изготовления элементов сборных сводчатых покрытий, удобству укладки утеплителя и устройства кровли цилиндрические и складчатые своды предпочтительнее волнистых. Деформативность складчатых и волнистых сводов в продольном направлении позволяет проектировать их без температурно–усадочных швов. При этом продольный каркас здания, служащий опорой для сводов, должен быть рассчитан на температурные воздействия.

Складки или волны сводов, примыкающие к деформационным швам, должны конструироваться с затяжками–распорками, диафрагмами и т.п., исключающими возможность деформации контура их поперечного сечения. В сводчатых покрытиях могут быть предусмотрены проемы для зенитных светоаэрационных фонарей, вытяжных шахт и т.п.

Своды, как и арки – распорные конструкции (рис. 7 а). Распор воспринимается затяжками, фундаментами, рамными пристройками, контрфорсами. Выбор того или иного способа восприятия распора определяется в значительной степени функциональными и архитектурными.

В ребристом своде (рис. 7. б) шаг ребер зависит от пролета: с увеличением пролета шаг уменьшается (к примеру, от 12 м при $L = 60$ м до 7,5 м при $L = 100$ м). Основными несущими элементами конструкции являются ребра – арки. Более эффективными конструкциями, как по расходу материала, так и с позиции изгибной жесткости и устойчивости, признают волнистые (рис. 7. в) и

складчатые (рис. 7. з) своды. м, а сечения увеличиваются. требованиями.

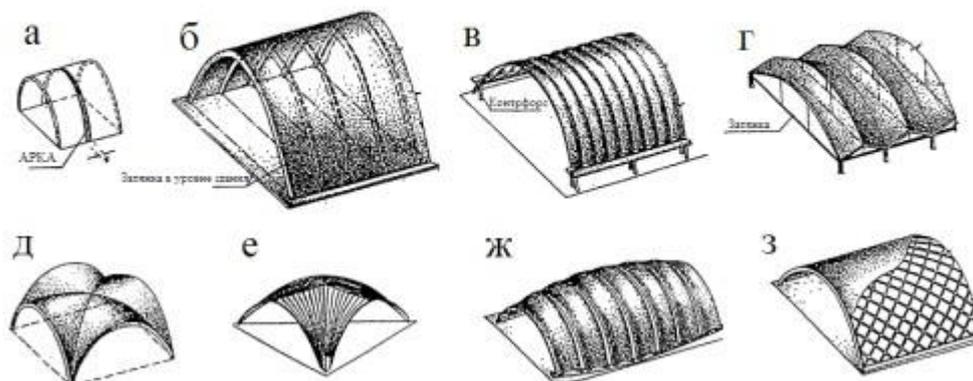


Рис. 7. Своды

а – арка

б – ребристый свод

в – волнистый свод

г – складчатый свод

д – крестовый свод

е – сомкнутый свод на треугольном плане

ж – тороидальные своды

з – кружально-сетчатые своды

Заслуживают внимания кружально–сетчатые своды (рис. 7. з) с ромбической решеткой из сборных железобетонных элементов (по аналогии с ранее применявшимися деревянными кружально–сетчатыми сводами). Ажурность решетки таких сводов обогащает интерьер зала. Наряду с рассмотренными цилиндрическими сводами, находят применение крестовые (рис. 7. д), сомкнутые (на прямоугольных и треугольных формах плана (рис. 7. е) и тороидальные своды (рис. 7. ж) (образование тора показано на листе с бочарными сводами–оболочками).

Железобетонные своды

Монолитные своды проектируются преимущественно цилиндрическими, очертание которых, по возможности, приближается к кривой давления от постоянной нагрузки. В сводах пролетом более 12 м следует предусматривать

подкрепляющие ребра, расположенные в направлении перекрываемого сводом пролета. Толщина плиты монолитного свода должна быть не менее 40 мм, а сборного – не менее 30 мм. Сборные цилиндрические своды выполняют из цилиндрических ребристых, а полигональные – из плоских ребристых плит с размерами сторон 1,5х6 м или 3х6 м. Разновидностью цилиндрических сводов являются трехшарнирные сегментные своды, собираемые из панелей–оболочек КЖС.

В зависимости от количества сборных элементов своды бывают двух или трехшарнирными. Покрытия до 24 м монтируют из двух половин со стыком в ключе. Диапазон их пролетов – от 12 до 120 м. Стрелу подъема (в ключе) в зависимости от назначения и размеров здания, способа восприятия распора, архитектурных требований и других условий принимают в пределах от $1/2$ до $1/10$ пролета L .

Оптимальная ширина b складок (волн) составляет $(1/8–1/10)$. При пролетах до 24 м ширина b обычно равна 3 м и менее, а для больших пролетов 3–12 м. Высоту сечения h из условия устойчивости назначают равной $(1/30–1/60)$. Приведенная толщина t плиты (стенки) свода составляет, примерно, $(1/400–L/600)$. Сборные своды проектируют из отдельных плоских плит, складчатых или волнистых элементов с прямолинейной или криволинейной осью.

Складчатые своды с треугольным поперечным сечением обычно применяют для пролетов до 80 м. Ширину b складки принимают, как правило, в соответствии с шагом колонн, т. е. 6–12 м, но иногда 3 м и менее по архитектурным соображениям. Высоту поперечного сечения h складки назначают равной $(1/4–1/10)b$. Сборную конструкцию свода проектируют из железобетонных ребристых панелей, где толщина полки панели $t > 30$ мм, высота ребер $h_p = 120–160$ мм ($\approx 1/20$ ширины панели) и шаг поперечных ребер 300–600 мм. Складчатые своды с трапециевидным поперечным сечением рекомендуется применять для пролетов до 36 м. Ширину b назначают не более 3 м, исходя из условия транспортирования элемента, а высоту $h – (1/4–1/6)b$, в зависимости от

величины перекрываемого пролета. Длину сборных элементов свода принимают в пределах от 2 до 6 м. Толщина t_1 горизонтальных полок, в которых устанавливается рабочая арматура, принимается не менее 60 мм, а наклонных стенок t – не менее 30 мм. Ширина b горизонтальных полок составляет примерно $(1/8-1/10)b$. В этом случае наклонные стенки рассчитывают на изгиб как плиты, опертые по контуру, или многопролетные неразрезные.

В волнистых сводах с криволинейным поперечным сечением отдельная волна может иметь очертание окружности, синусоиды, криволинейного лотка и др. Ширина волны b может составлять 1,5–3 м, достигая иногда 6...12 м. Своды проектируют либо из тонкостенных панелей двойкой кривизны, либо из ребристых цилиндрических панелей, а также бортовых элементов.

Особый вид представляют двоякоскладчатые своды, поверхность которых имеет складки как по образующей, так и по направляющей линиям. Пространственную геометрическую основу таких сводов образуют правильные многоугольники, расположенные в плоскостях, нормальных к общей продольной оси, и многоугольники, повернутые на половину одной стороны. Каждая пара смежных треугольников образует неплоский ромб с диагоналями, расположенными в разных плоскостях.

Разновидностью рассматриваемых выше конструкций являются структурные своды. Их собирают из тонкостенных пирамид, соединяя вершины стержнями кольцевого и продольного или косоугольного (по винтовой линии) направлений. Материалом пирамид может служить листовая металл, фанера, пластмассы, реже армоцемент и железобетон. Ребра пирамид выполняют роль раскосов структуры, а их грани – ограждающей конструкции. Существует другой вариант структурного свода (например, из стеклопластика), где пирамиды заменены ромбовидными в плане элементами с седловидной поверхностью (гипарами), которые обладают большей жесткостью формы, нежели плоские грани пирамид.

Лекция 6. Проектирование висячих и тканевые конструкций покрытий.

Все висячие покрытия - распорные конструкции, причем распор тем больше, чем меньше отношение стрелы провисания f к пролету L . Обычно относительное провисание висячих покрытий f/L принимается в границах от $1/10$ до $1/20$. Распор от висячих конструкций передается либо на опорный контур, который им воспринимается, либо в грунт через стойки и оттяжки, заанкеренные в землю или заделанные в массивные части здания.

Основные несущие элементы висячих покрытий – ванты (тросы, канаты, гибкие стержни, пучки высокопрочной проволоки, ленты и т.п.), работают на растяжение. Пролетные несущие конструкции висячих покрытий так же работают в основном на растяжение. В них в отличие от большинства других типов конструкций покрытий не возникают изгибающие моменты. Они являются как бы конструктивной разновидностью оболочек, но отличаются от них тем, что оболочки сжаты и выпуклы, а пролетные несущие конструкции висячих покрытий растянуты и вогнуты, хотя бы в одном направлении. Элементы несущей пролетной конструкции висячих покрытий имеют, как правило, незначительную изгибную жесткость. Поэтому форма покрытия в значительной степени (если не приняты специальные меры) зависит от характера внешней нагрузки. Существенные изменения формы висячего покрытия могут вызвать расстройство кровли или разрушение ограждающей конструкции и сделать, таким образом, здание непригодным к эксплуатации. В легких и гибких висячих покрытиях при воздействии динамических (обычно ветровых) нагрузок могут возникнуть колебания, представляющие большую опасность для пролетной и особенно для опорной конструкции. Поэтому вопрос придания необходимой жесткости висячим покрытиям является очень важным.

Висячими называются строительные конструкции, в которых основные несущие элементы, перекрывающие пролет сооружения, испытывают

растягивающие усилия, т.е. работают на растяжение. На рисунке 1 представлена классификация висячих покрытий. Рис. 1. Классификация висячих покрытий. Висячие конструкции подразделяются на две большие группы: с замкнутым опорным контуром и разомкнутым опорным контуром.

Висячие покрытия – распорные конструкции (пролет от 30 до 200 м и более) классифицируют по виду опорного контура (с замкнутым и разомкнутым контуром) и по типу пролетной конструкции покрытия (вантовые, мембранные и тросовые).

В этой классификации подчеркивается связь конструктивных особенностей с архитектурно-планировочным решением сооружения. К первой группе отнесены конструкции, опорный контур которых является замкнутым, жестким и не передает горизонтальные усилия на нижележащие конструкции (стены и колонны). Сюда входят разновидности покрытий круглых, эллиптических и овальных в плане, в опорном контуре которых, обычно в железобетонном кольце, при осесимметричной нагрузке возникают в основном сжимающие усилия. В первой группе можно выделить два вида конструкций: с замкнутым опорным наружным контуром без внутренних опор (разрезы 1-1, 2-2 на рис. 1, а) и с таким же контуром, но с внутренними опорами (разрез 3-3 на рис. 2, а).

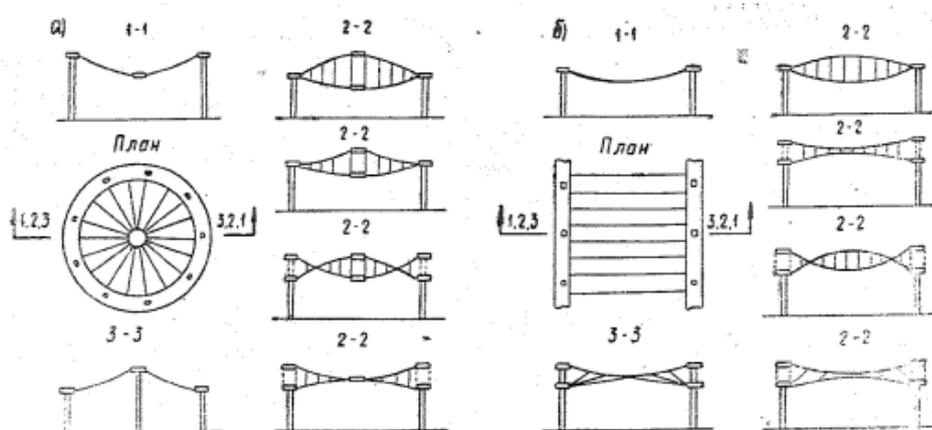


Рис. 1 Схемы висячих покрытий а – с замкнутым контуром, б – с разомкнутым контуром

Ко второй группе отнесены конструкции с разомкнутым контуром, у которых распор воспринимается либо нижележащими конструкциями, либо

анкерными устройствами, заглубленными в землю. Наиболее распространенный тип зданий с подобными покрытиями – прямоугольное с расположенными снаружи оттяжками или контрфорсами. Вторая группа тоже делится на два вида: однопролетные с разомкнутым контуром и многопролетные с разомкнутым контуром. В многопролетных покрытиях в отличие от однопролетных, удается снизить относительный расход материалов, идущих на оттяжки и анкерные устройства. По виду расположения основных растянутых элементов все висячие покрытия в этой классификации можно разбить на три типа: мембраны (рис. 2); тросовые фермы (рис. 3, а, б) и вантовые покрытия (рис. 4, а, б).

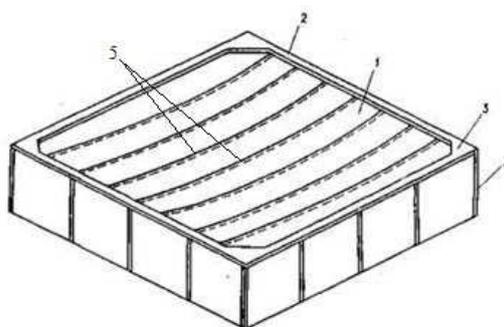


Рис. 2. Схема мембранного покрытия

1 – мембрана

2 - опорный контур

3 – вуты (утолщения плит или балок в железобетонных конструкциях, повышающие сопротивление изгибающим нагрузкам)

4 – стойки

5 – швы соединения листов (стыки)



Рис. 3. Покрытия с параллельно расположенными тросовыми фермами системы инженера Д.

Яверта

а – тросовые фермы, опертые на колонны с оттяжками

б – тросовые фермы, заделанные в овальные стенki

в – системы вант и балок

1 – несущие тросы

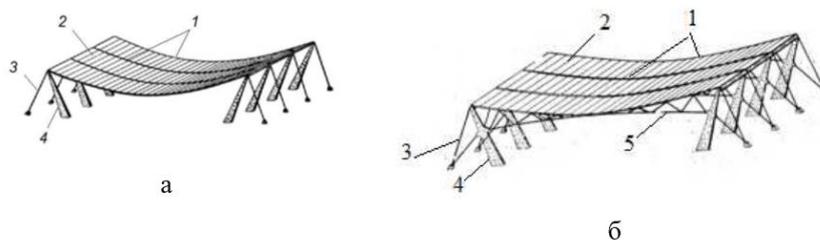


Рис. 4. Вантовые покрытия

а - одноярусные вантовые покрытия

б – двухъярусные вантовые покрытия

1 – несущие ванты

2 – элементы покрытия (кровля)

3 – оттяжки

4 – опоры (стойки)

5 - стабилизирующие ванты

Вантовые висячие покрытия. Классификация вантовых покрытий

Вантовые висячие покрытия являются наиболее распространенным типом висячих покрытий. Они образуются сеткой растянутых вант, на которую укладываются или подвешиваются к ней элементы ограждения.

Вантовые конструкции – это конструкции, состоящие из несущих пролетных элементов в виде стальных вант (тросов) и воспринимающих их реакции опорных частей (опорный контур). В некоторых конструктивных формах включаются также элементы, передающие распор (оттяжки и распорки).

В этом случае в отличие от покрытий в виде мембран элементы ограждения воспринимают только местные нагрузки на покрытие и не участвуют в статической работе сооружения в целом.

К достоинствам покрытий по сеткам из вант нужно, прежде всего, отнести малый собственный вес конструкции, простоту и короткие сроки ее возведения, а также возможность регулирования усилий в вантах. Вантовые конструкции можно классифицировать по разным признакам, но поскольку на формирование объемно-пространственной структуры зданий, образованных вантовыми конструкциями, совместно влияют конструктивная форма

покрытия и опорного контура, целесообразно выполнять классификацию именно по особенностям этих конструктивных элементов. Также, как уже отмечалось выше, одним из основных недостатков вантовых систем как разновидности висячих покрытий, является повышенная деформативность. Именно поэтому очень важным является проведение необходимых действий по устранению подвижности и деформативности.

Классификация вантовых конструкций представлена на рисунке 5.

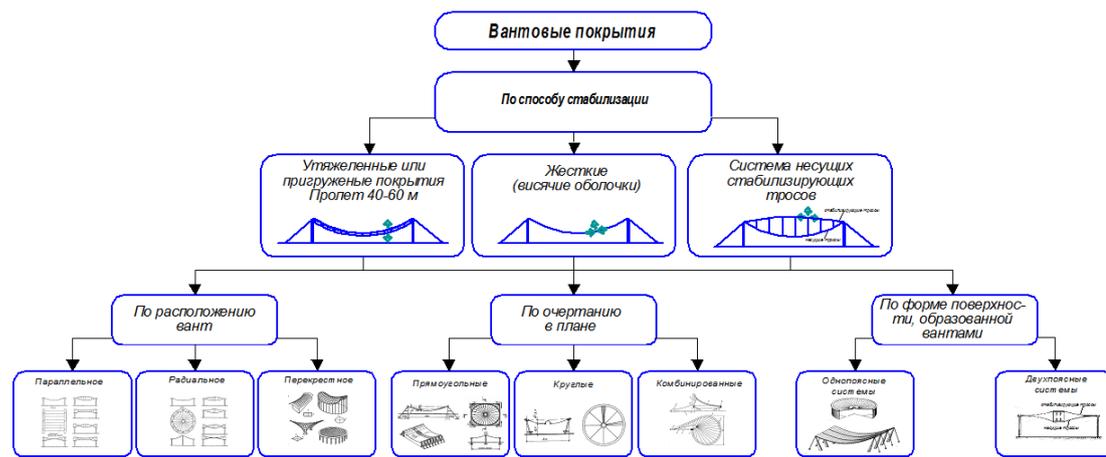


Рис. 5. Классификация вантовых покрытий

Конструктивные элементы вантовых покрытий

Все элементы вантовых покрытий взаимосвязаны между собой и должны рассматриваться комплексно. Однако для простоты изложения рассмотрим эти элементы поочередно: сначала сами ванты, затем опорные конструкции, анкерные устройства, узлы примыкания отдельных элементов друг к другу и связи.

Ванты – это тип нитей, которые имеют криволинейную форму, обусловленную свободной длиной и гравитационным действием внешних усилий. Основу висячих конструкций составляет нить – гибкий провисающий стержень (или полоса), который работает на растяжение и несет поперечную нагрузку в пролете. В отличие от вант, **струны** – это нити, в которых действует предварительное напряжение растяжения, позволяющее сохранять прямолинейность.

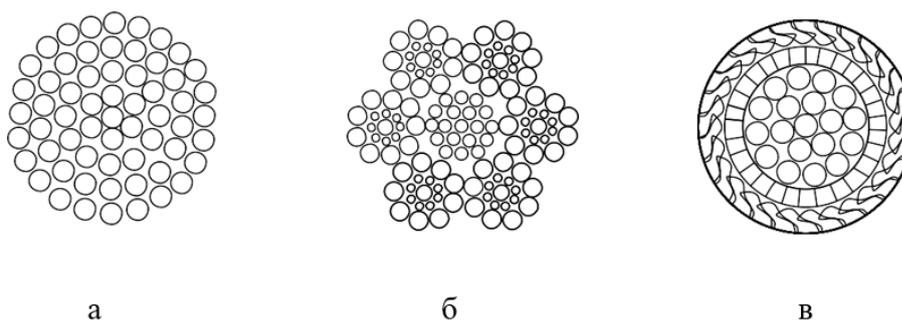
В качестве вант, представляющих собой основной элемент покрытия, используются:

- стальные тросы и канаты;
- арматурные пучки и пряди из высокопрочной проволоки
- отдельные арматурные стержни (струны).

Другие виды стальных изделий, как, например, полосовая и профильная прокатная сталь, применяются в вантовых системах значительно реже.

Стальные канаты состоят из проволоки с расчетным пределом прочности от 100 до 280 кГ/мм². В зависимости от методов изготовления канаты подразделяются на одинарной, двойной и многократной свивки. Пучки и пряди обычно изготавливаются из высокопрочной круглой проволоки. Диаметр проволоки для пучков и прядей, используемых в вантовых покрытиях, принимается не менее 2-3 мм. Через 70-100 см пучки проволоки связываются мягкой вязальной проволокой диаметром 1-1,5 мм.

Различают конструкции с гибкими и жесткими нитями. Гибкие нитевые конструкции организуются из круглой стали или канатов. Канаты – тип сечения, который выполняется в виде сплетенных прядей стальных волокон. По расположению в канатах прядей различают в основном спиральные и семипрядные канаты (рис. 6).



*Рис. 6. Типы канатов
а – спиральный
б – семипрядный
в - спиральный закрытый*

По конструктивной схеме различают однопоясные, двухпоясные, перекрестные и комбинированные системы покрытий зданий (рис. 7).

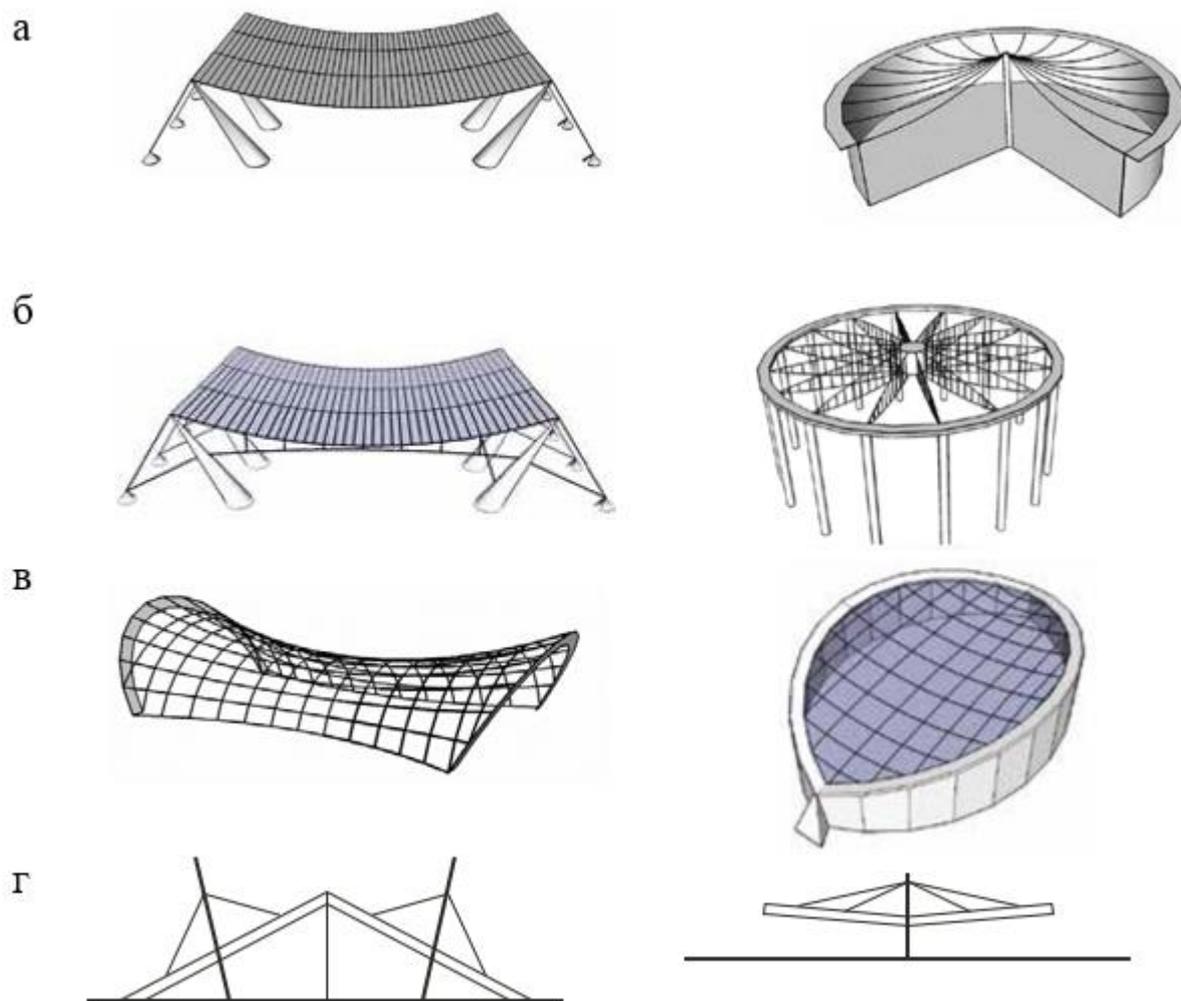


Рис. 7. Типы систем висячих покрытий

а – однопоясные

б – двухпоясные

в – перекрестные

г – комбинированные подвесные

Однопоясные покрытия наиболее просты в исполнении, однако являются свободно провисающими и деформативными. Из-за малого веса они подвержены риску изменения кривизны – выхлопыванию вследствие действия отрицательного давления, которое может возникать на кровлях.

Из-за этого однопоясные системы могут требовать балластного пригруза в виде железобетонных плит и т.д. Перекрестные системы избавлены от того недостатка, так как имеют в одном направлении основные ванты, а в другом –

стабилизирующие, не дающие покрытию выхлопывать вверх. Двухпоясные системы фактически являют собой вантовые фермы, однако с обоими растянутыми поясами. Геометрически неизменяемые висячие системы, имеющие стабилизирующие и иные элементы, также называют вантовыми.

Геометрия покрытий, образованных системами из нитей, может быть самой разнообразной – от плоскостных поверхностей, формирующихся из струн, до гиперболических параболоидов и поверхностей переменной кривизны. Эффективность канатов обуславливает их широкое применение в различных комбинированных системах, где оправдано использование растянутых элементов – навесах, мостах и т.п.

Особенности проектирования висячих конструкций

Поскольку в гибких элементах действуют только растягивающие усилия, их **рассчитывают на растяжение**. Кроме того, следует обязательно учитывать, что любая гибкая нить обладает начальным провисанием и не сразу воспримет растягивающее усилие. Поэтому для включения в работу **ванты подвергают обязательному предварительному напряжению**. Элементы из канатов при предварительном напряжении вытягиваются, поскольку имеют свивку, что должно быть учтено при конструировании. Также при расчете гибких элементов обращают особое внимание на динамические эффекты, так как нити подвержены резонансным явлениям при ветровых пульсациях.

При пролетах более 300-400 м может возникнуть необходимость применения жестких вант.

Рациональная высота сечения нитей при этом ориентировочно составляет 1/80-1/150 перекрываемого пролета.

В двухпоясных радиальных системах эффективным является применение жесткого либо гибкого внутреннего растянутого кольца, на которое сходятся вантовые элементы, визуальное и конструктивно разгружая систему.

Одним из серьезных вопросов проектирования висячих систем является заземление силового потока. Как правило, несущие конструкции зданий, активные по форме, имеют отрицательную кривизну очертаний, а значит,

нуждаются в опорном контуре, который должен находиться выше поверхности земли и воспринимать усилия от вант. Из-за этого в контуре появляются значительные сжимающие и моментные усилия, и поэтому его конструкция должна быть достаточно жесткой. По этой причине опорные контуры в основном выполняют в виде железобетонных опор или тяжелых стальных ферм.

Мембраны

Если вантовые конструкции организуются из растянутых стержневых элементов, стальные мембраны (рис. 8) используют висячие растянутые континуальные поверхности, активные по форме. Мембранные покрытия представляют собой пространственные конструкции, основу которых составляет гибкий тонкий металлический лист, закрепленный по периметру на жестком опорном контуре.

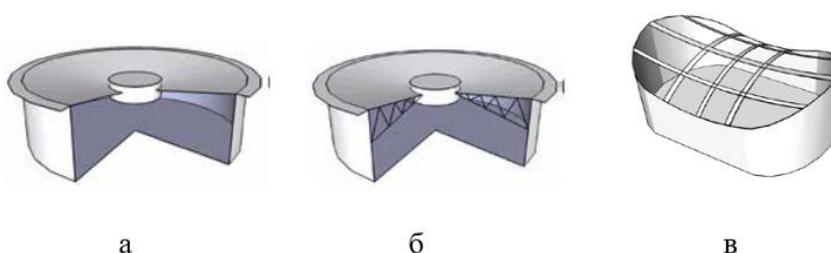


Рис. 8. Конструктивная схема мембранных покрытий

а – однослойные

б - подкрепленные вантами

в - двухслойные ленточные (верхний лист условно не показан)

По конструктивной схеме различают однослойные, подкрепленные вантами, и двухслойные ленточные мембраны. Однослойные покрытия наиболее просты в исполнении, однако наиболее деформативны, и их применимость ограничена возможностью обработки и сваривания листов с возрастанием толщины. Поэтому распространение нашли мембраны, подкрепленные вантами. Совместная работа вантовых элементов и континуальной мембраны повышает жесткость последней и позволяет

увеличить пролет. В виде вант могут выступать как элементы из канатов, так и узкие стальные полосы.

Покрытия из отдельных тонких стальных лент выполняются в разных слоях. При этом уровни лент располагают во взаимно перпендикулярных направлениях; один из уровней выполняет роль несущих, а другой - стабилизирующих вант. Также ленты могут переплетаться, что предупреждает их расслаивание. Совместная работа лент в двух направлениях повышает жесткость конструкции при неравномерной нагрузке.

План, на котором организуются мембранные покрытия, преимущественно принимается круглой, овальной или прямоугольной формы.

Форма мембранных покрытий обычно представляет собой вогнутые поверхности с цилиндрической, чашеобразной или седловидной конфигурацией.

Рекомендуемые эффективные **пролеты мембранных покрытий обычно составляют 40-230 м**, но при необходимости и технологических возможностях **могут быть увеличены до 300-350 м**. Стрелу провисания мембран назначают в пределах $1/18 - 1/25$ пролета. Для изготовления мембран применяются стальные полотна, доставляемые на строительную площадку в виде листов или рулонов толщиной 2-5 мм. Ширина полотен принимается в соответствии с техническими возможностями 0,74-12 м. Полотна толщиной менее 3 мм делают из рулонных лент, которые сваривают друг с другом внахлест. Полотна более 3 мм толщиной изготавливаются из отдельных листов 1,5х6 м, которые сваривают встык. Важный элемент мембраны – опорный контур, воспринимающий огромные усилия от мембраны и заземляющий их на опоры или фундаменты. В зависимости от формы сооружения, контур может быть плоским или пространственным, прямолинейного или криволинейного очертания, замкнутый или разомкнутый, подпертый по длине или свободный в пролете от опор. Во всех типах мембран основным усилием в опорном контуре является сжатие. Кроме того, в контуре могут возникать изгибающие моменты в двух взаимно

перпендикулярных плоскостях. Наиболее целесообразен замкнутый контур. Разомкнутый контур может быть применен только в случае, когда он связан с опорной конструкцией трибун или примыкающего здания, которая воспримет распорные усилия.

КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕНТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Тентовые конструкции можно классифицировать по типу каркаса, типу ткани, методу соединения ткани с каркасом и типам фундамента, который зависит в первую очередь от свойств грунта на строительной площадке (рис. 2.2.9).



Рис. 9. Классификация тентовых конструкций

Ярким примером применения тентового покрытия является построенное к 2010 г. торгово-развлекательный комплекс «Хан Шатыр» в столице Казахстана Астане. Открыт 6 июля 2010 года. Это тентовое здание на данный момент является самым большим шатром в мире. Здание представляет собой **гигантский шатер высотой 150 м** (со шпилем), сконструированный из сети стальных вант, на которых закреплено прозрачное полимерное покрытие ETFE. Каркасом сооружения является три гигантские фермы, каждая из которых сконструирована из труб. Эти фермы соединены в единую «корзину» вверху, на которую и крепится шпиль (рис. 2 2.10).

Материал защищает внутреннее пространство комплекса от резких температурных перепадов и создает комфортный микроклимат внутри комплекса.

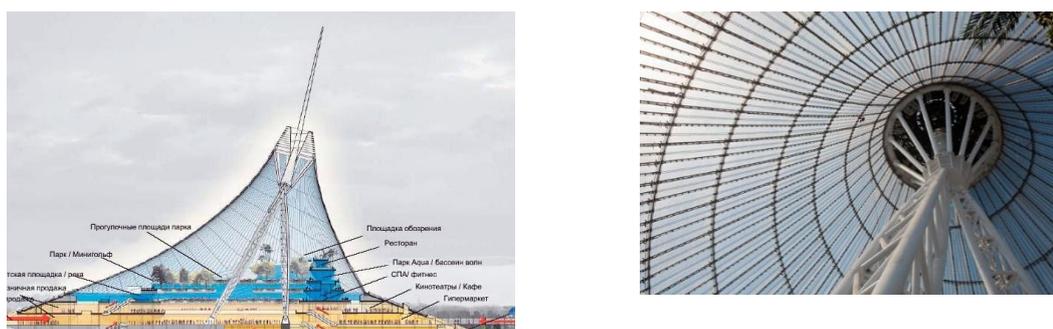


Рис. 10. «Хан Шатыр», г. Астана, Казахстан, 2010 г.

Строительство этого пятидесятиэтажного небоскреба, в стенах которого находится воздух, велось в очень неблагоприятных условиях. Казахстан – эта страна, в которой летом +40, а зимой -40.

Для устойчивости решили использовать не одну ось, а треногу – из трех осей, каждая из которых длиной около 150 метров и весом в 2 тысячи тонн.

Они заканчиваются в узловой конструкции, которая помогает распределять нагрузку на всю конструкцию. Подъем узловой конструкции на треноге и их окончательная установка заняли неделю.

Поверхность шатра собрали из 836 прозрачных «подушек» - это полимерное покрытие ETFE. Каждая из них была уникального размера и устанавливать ее нужно было в строго определенное место, иначе поверхность

шатра не обрела бы свою форму. Получался «пазл» с площадью более 20 тысяч м². Их установка пришлось на суровые морозы, так что некоторые монтажники рисковали своими жизнями ради возведения инновационного проекта.

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕНТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В 1813 году **Чарльз Макинтош** получил патент на изделия из ткани, пропитанной раствором каучука. Другой английский ученый **Томас Хенкок** по договоренности с Макинтошем построил в Манчестере фабрику по производству прорезиненных тканей. Несмотря на значимость события, ткань эта имела существенные недостатки: материал был недолговечен, становился мягким и липким в тепле, а в холоде – твердым и жестким. Поэтому он не мог обеспечивать необходимую надежность конструкций.

В 1839 году американец **Чарльз Гудьир** открыл явление вулканизации каучука с добавлением серы в состав материала и других компонентов, изменившим коренным образом свойства полученного материала.

Он стал эластичным при высоких температурах внешней среды, прочным и не трескался при низких температурах в холодное время года. Эти открытия послужили началом появления и использования эластомерно-тканевого материала в строительстве для покрытия больших безопорных пространств.

Химики относят **эластомерно-тканевый материал (ЭТМ)** к классу **эластичных композитов**. Матрицей такого композита служит эластомер, а армирующим материалом – волокна в виде ткани, нетканого полотна (материалы из волокон или нитей, соединённых между собой без применения методов ткачества), или отдельные волокна различной длины.

Тентовый материал (рис. 2.2.11) состоит из полиэфирной ткани 1, взятой в качестве основы (основного слоя ткани), и слоев поливинилхлорида 2 и 3, нанесенных соответственно на лицевую и изнаночную стороны полиэфирной ткани 1. Ткань 1 основы выполнена переплетением полотняным методом полиэфирных комплексных нитей 4.

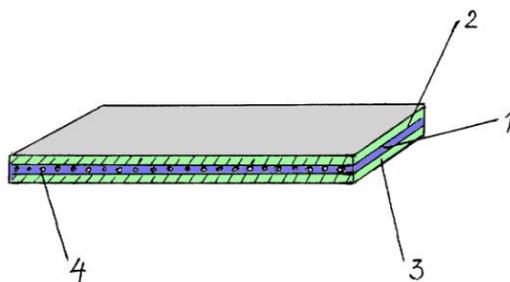


Рис. 11. Патент Буцких А.Д. и Боцман А.С. Тентовая ткань по патенту Буцких А.Д. и Боцман

1 – полиэфирная ткань

2 и 3 – слои полиэфирной ткани

4 – полиэфирные комплексные нити

Эластомерно-тканевый материал может различаться по различным признакам:

- тип армирующей ткани - ткань; **корда; монопнити; нетканое полотно;** отдельные волокна различной длины, ориентированных вдоль, поперек полотна или хаотично;

- тип эластомерного слоя - поливинилхлорид (ПВХ); этиленпропилендиеновый сополимер (EPDM); **стекловолокно**, покрытое политетрафторидэтиленом (PTFE); пленки из этилентетрафторидэтилена (ETFE);

- масса текстильной основы;

- устойчивость и возможность восприятия температуры (от -50°C до $+50^{\circ}\text{C}$);

- устойчивость к воздействию агрессивных химических соединений и открытого огня;

- количество слоев – от двух и более;

- наличие или отсутствие вентиляционных люков и окон;

- срок эксплуатации - от 10 до 50 лет.

Классификация и характеристика пневматических строительных конструкций

«Я убежден, что пневматические конструкции являются самым важным открытием, когда-либо сделанным в области архитектуры, что они смогут освободить жилую среду от скованности и могут сыграть существенную роль

в развитии общества. Проблема перекрытия больших пролетов—одна из «вечных», - писал архитектор **А. Квормби**.

Пневматические конструкции – это мягкие безмоментные оболочки, форма которых обеспечивается за счет избыточного давления воздуха, нагнетаемого непрерывно под оболочку, или за счет герметичных несущих пневмобаллонов, наполненных воздухом и служащих несущими конструкциями для водонепроницаемой ткани покрытия.

Пневматические строительные конструкции обычно делят на две совершенно самостоятельные группы: воздухоопорные и воздуонесомые.

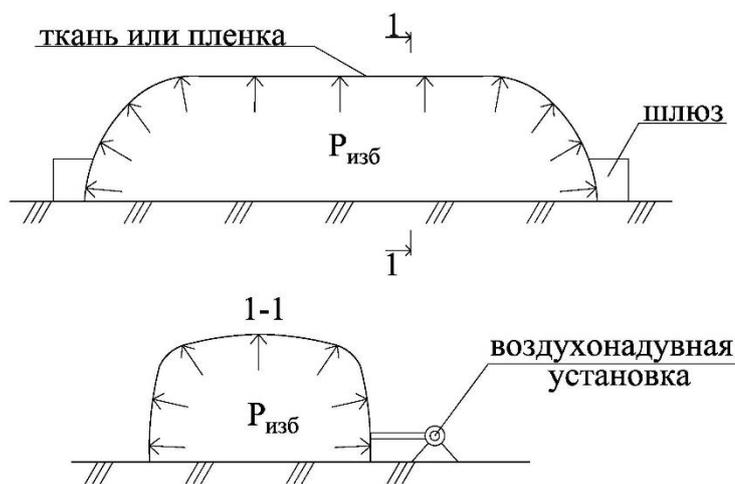


Рис. 13. Схема воздухоопорного сооружения

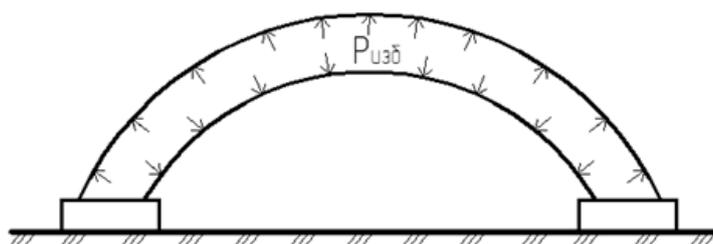


Рис. 14. Схема воздуонесомого сооружения

Воздуонесомые конструкции (рис. 13) — это стержни или панели, несущая способность которых (сопротивление сжатию, изгибу, кручению) обеспечивается постоянным давлением воздуха в их замкнутом объеме. Как правило, они представляют собой отдельные конструктивные элементы с

высоким внутренним давлением воздуха, требующим соответственно высокой степени герметизации (рис. 14).

Воздухоопорные конструкции «опираются» на воздух. Их оболочка просто «лежит» на воздухе, которому выйти из-под нее некуда (рис. 13). Для противодействия внешним нагрузкам давление воздуха несколько повышается по сравнению с атмосферным. Вследствие низкого (100—400 Па) давления воздуха и непрерывной его подачи вентилятором особых требований к герметичности оболочки не предъявляется. Важно лишь, чтобы утечку воздуха компенсировало его поступление от вентилятора. Воздухоопорные оболочки крепятся к опорному контуру (грунту или прилегающим жестким конструкциям).

Воздухоопорные оболочки (в том числе линзы) часто имеют усиление в виде канатов (тросов, лент) или тросовых сетей. Это своего рода "мягкий каркас", назначение которого - принять на себя значительную часть растягивающих усилий. Мягкий каркас позволяет увеличить пролеты оболочек, не повышая требований к прочности материалов. Простейший линейный элемент - прямой **пневмостержень**, который в зависимости от характера статической работы считается балкой или стойкой. При изломах оси пневмостержень образует раму, при искривлении - арку или кольцо (тор).

Функциональное различие между воздулонесомыми и воздухоопорными конструкциями с точки зрения строителей состоит в том, что первые являются сравнительно небольшими конструктивными элементами (балками, стойками, арками, панелями и др.), тогда как вторые настолько велики, что представляют собой целое здание, в котором можно жить и работать. Давление воздуха в полезном пространстве, образованном воздулонесомыми конструкциями, равно атмосферному, а под оболочкой воздухоопорного сооружения превышает его.

Из этой классификации выпадает особый вид двухслойных покрытий, которые называют **пневмолинзами**, если они перекрывают круглый, овальный или многоугольный план, и пневмоподушками — при

прямоугольном плане. Пневмолинзы по принципу статической работы следует отнести к воздухоопорному типу, а по такому признаку, как отсутствие избыточного давления в эксплуатируемом пространстве, они ближе к воздуонесомым, представляя собой не здание в целом, что является признаком воздухоопорных сооружений, а лишь один его конструктивный элемент — покрытие.

Воздухоопорные конструкции могут различаться:

- по геометрической форме на: простые; сложные; составные;
- по количеству пролетов на: однопролетные; многопролетные (рис. 15).

Воздухоопорные	Геометрические формы	Простые	
		Составные	
		Сложные	
	Линзы (подушки)		
	Усиление канатами или сетями	Многопролетные	
		Однопролетные	
Воздуонесомые	Стержни		
	Пакеты	Однотранные	
		Изотранные	

Рис. 15. Общая классификация пневматических конструкций

Лекция 7. Инсоляция помещений общественных зданий

Солнце – основа жизни на земле, основной источник энергии, который приобретает все большее значение по мере истощения природных запасов энергетического сырья: нефти, газа, угля. Однако использование Солнца как источника энергии в настоящее время в России находится в стадии экспериментов. В то же время значение Солнца не исчерпывается его энергетической значимостью. Воздействие Солнца на человека складывается из четырех факторов:

- Бактерицидное воздействие (считается, что за 2–2,5 часа ультрафиолетовая радиация (УФР) убивает до 100% бактерий в чашке Петри, установленной в солнечном пятне на подоконнике).

- Эритемное воздействие (под действием УФР на кожу человека в организме вырабатывается витамин Д).

- Тепловое воздействие (зимой на большей части территории России тепловое воздействие имеет положительный характер. Летом оно ведет к перегреву, что требует специальной солнцезащиты и затрат энергии на кондиционирование).

- Психологическое воздействие (по результатам психофизических исследований, проводившихся в Дании, Швеции, Голландии принято считать, что люди далеко не всегда хотят находиться в инсолируемой комнате, но им нужна уверенность, что солнце может проникать в одну из комнат квартиры).

Инсоляцией называется проникновение прямых солнечных лучей в помещение.

Нормирование инсоляции в России в настоящее время осуществляется по Нормам Минздрава РФ СанПиН. Большой вклад в теорию инсоляции и солнцезащиты в архитектуре внесли такие ученые, как Б.А. Дунаев, Н.В. Оболенский, Д.В. Бахарев, Д.С. Масленников, И.С. Суханов, Б.Ф. Васильев. Гигиеническая сторона Норм по инсоляции определяется на основе работ таких ученых, как В.А. Белинский, В.Н. Куприянов, М.П. Гараджа, Н.М. Данциг, В.Г.

Беликова. Нормирование инсоляции также, как и естественного освещения, позволяет гигиенически обоснованно ограничить стремление инвесторов к чрезмерному повышению плотности застройки.

Нормы инсоляции определяются в часах, в течение которых прямое солнечное излучение непрерывно или с перерывами попадает в расчетную точку. В случае прерывистой инсоляции суммарная продолжительность должна быть увеличена на 0,5 часа при продолжительности одного из периодов не менее 1 часа. Расчетная точка располагается в помещении за остеклением светопроема согласно (рис. 1). Это условие регламентировано СанПиН. На территории игровых и детских спортивных площадок в жилой застройке, а также на территории общеобразовательных школ и детских дошкольных учреждений (ДДУ) такие точки должны ограничивать 70% территории.

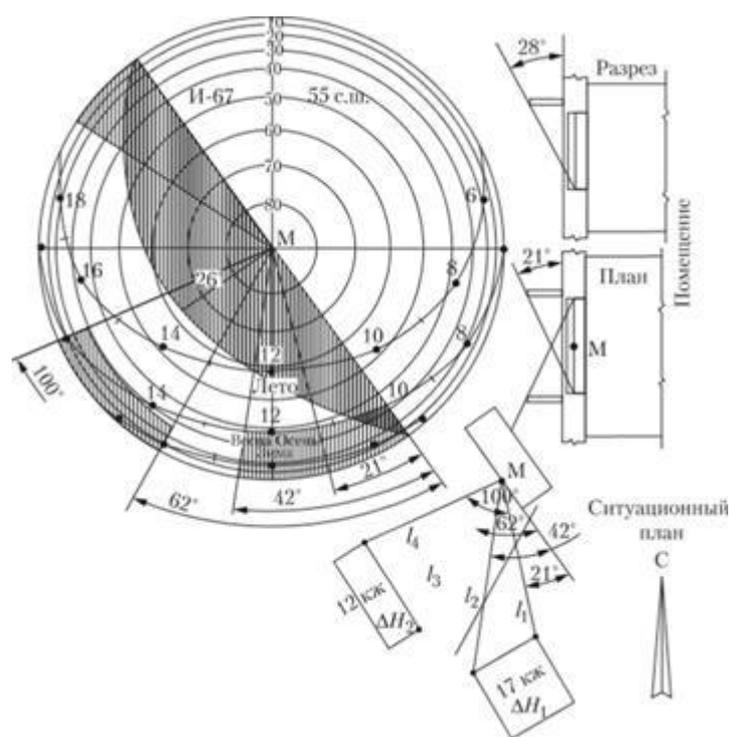


Рис. 1. Построение теневых масок сторонних углов окна и теневых масок противостоящих зданий.

Продолжительность инсоляции точки М 22.03 (22.09) с 11.40 до 14.20 — 2 ч 20 мин

Нормируемая продолжительность инсоляции для различных районов России приведена в табл.1. Инсоляция должна быть обеспечена в одной из

жилых комнат одно-, двух- и трехкомнатных квартир или в двух жилых комнатах четырех- и более комнатных квартир, а также в палатах больниц, игровых и групповых комнатах ДДУ и в классах общеобразовательных школ. Не случайно при изучении нормирования инсоляции общественных зданий упоминаются нормы для жилых зданий. При проектировании общественных зданий часто приходится проверять, не затеняют ли проектируемые здания окружающую жилую застройку. Если проектируемое здание нарушает нормы инсоляции хотя бы в одной квартире, то застройщику (а в худшем случае – проектировщику) по суду придется компенсировать жильцам таких квартир уменьшение стоимости жилой площади в 4 – 5 раз, что в центре больших городов может достигать несколько сот миллионов рублей. В Москве недавним примером этому может служить снос четырёх из десяти этажей административного здания в Колокольном переулке, несколько раз показанный по телевизору. На территории детских площадок продолжительность инсоляции в указанные в табл.1 сроки должна быть не менее 3 часов.

Таблица 1.

Значения световой характеристики η_0 окон при боковом освещении

Отношение длины помещения l_n к его глубине B	Значения световой характеристики η_0 при отношении глубины помещения B к его высоте от уровня условной рабочей поверхностей до верха окна h_1							
	1	1,5	2	3	4	5	7,5	10
4 и более	6,5	7	7,5	8	9	10	11	12,5
3	7,5	8	8,5	9,6	10	11	12,5	14
2	8,5	9	9,5	10,5	11,5	13	15	17
1,5	9,5	10,5	13	15	17	19	21	23
1	11	15	16	18	21	23	26,5	29
0,5	18	23	31	37	45	54	66	-

Для центральных и исторических районов городов, а также в случае, если в квартире инсолируются две и более жилые комнаты, нормируемая продолжительность инсоляции может быть уменьшена на 0,5 часа. Это не касается ДДУ и общеобразовательных школ.

В 2017 г. Были введены изменения в СанПиН, согласно которым, расчетные сроки инсоляции в центральной зоне, табл. 1 принимаются с 22.04 по 22.08, что дает возможность уплотнить городскую застройку, но значительно ухудшает условия инсоляции в помещениях.

Расчет продолжительности инсоляции основан на астрономических закономерностях движения Солнца по небосводу. На рис. 2 приведена схема траекторий движения Солнца по небосводу в дни осенне-весеннего равноденствия (22 марта и 22 сентября), летнего и зимнего солнцестояния (22 июня и 22 декабря). Угол наклона плоскостей эклиптики по отношению к горизонтальной плоскости в данной точке земной поверхности равен $90 - \varphi$, где φ – географическая широта местности.

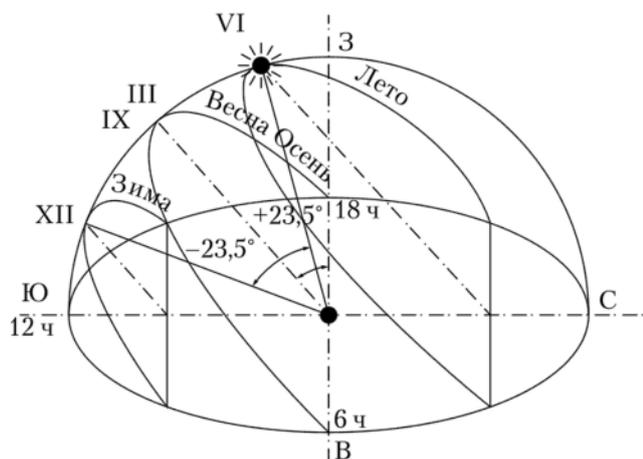


Рис. 2. Траектория Солнца в течение характерных дней года и способ определения положения Солнца в полдень в дни летнего весенне в дни летнего и зимнего солнцестояния и в дни весеннего осеннего равноденствия при заданной географической широте

Положение Солнца на небосводе в любой момент времени может быть рассчитано по формулам:

$$\sin h_0 = \sin G \cdot \sin \varphi + \cos G \cdot \cos \varphi \cdot \cos t; \quad (1)$$

$$\cos A_0 = \frac{\cos \varphi \cdot \sin G - \cos G \cdot \sin \varphi \cdot \cos t}{\cos h_0}; \quad (2)$$

Проекция траекторий движения Солнца по небосводу на горизонтальную плоскость называется солнечной картой, которая составляется для данной широты местности в ортографических (рис. 3), в стереографических (рис. 4) или в равнодистанционных проекциях. Концентрические окружности на солнечных картах обозначают кольцевые угловые координаты вертикальных углов высоты солнца над горизонтом.

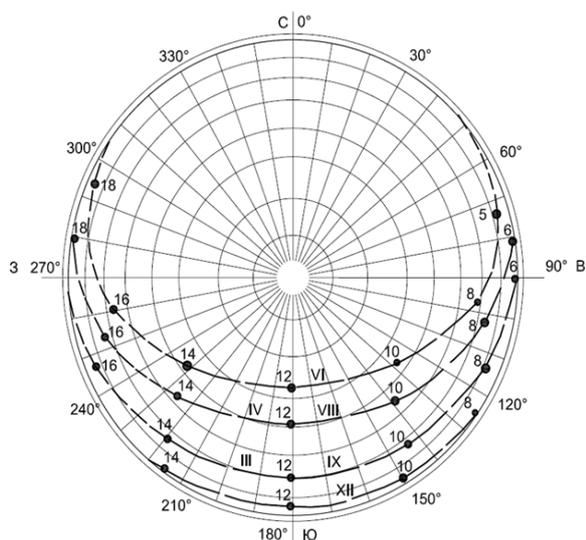


Рис. 3. Ортографические проекции. Солнечная карта для $\varphi > = 55^\circ$ с.ш.

На солнечную карту (рис. 2) наносится линия ориентации фасада, горизонтальный и вертикальный теневые углы светопроема (рис. 3). По свободной (не попавшей в теневые углы) части проекции траектории солнца (можно определить продолжительность инсоляции помещения).

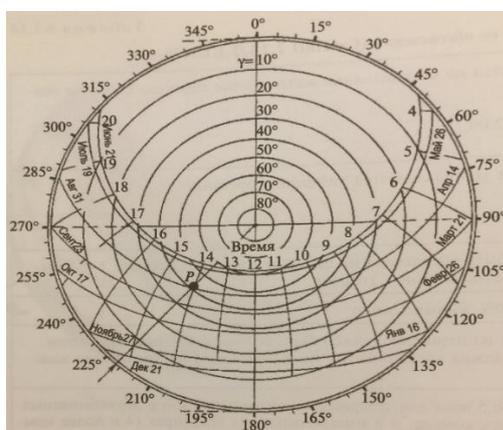


Рис. 4. Стереографические проекции. Солнечная карта для $\varphi = 28^\circ$ с.ш. Определение азимута и угловой высоты Солнца, например, 31 августа в 14.00; $\alpha = 222$, $\gamma = 42$

Затенение противостоящими зданиями учитывается путем построения на солнечной карте теневых масок этих зданий: измеряются горизонтальные углы и вычисляются вертикальные углы контура окружающей застройки, видимой из расчетной точки, в соответствии с генпланом или ситуационным планом места строительства (см. рис. 1). Затем эти углы наносятся на солнечную карту в виде теневых масок.

По свободным от теневых масок участкам проекции траектории движения солнца, разбитым на часы, определяется продолжительность инсоляции помещения.

В проектных организациях России для определения продолжительности инсоляции принято пользоваться так называемыми «инсографиками», (рис. 5) которые можно накладывать на генплан и быстро определять продолжительность инсоляции прямо «с листа». Это повышает оперативность работы архитекторов. Недостатком инсографиков является сложность учета затеняющего действия карнизов, балконов и лоджий по сравнению с методом солнечных карт. Тем не менее этот метод считается основным, и его применение регламентируется Нормами СанПиН.

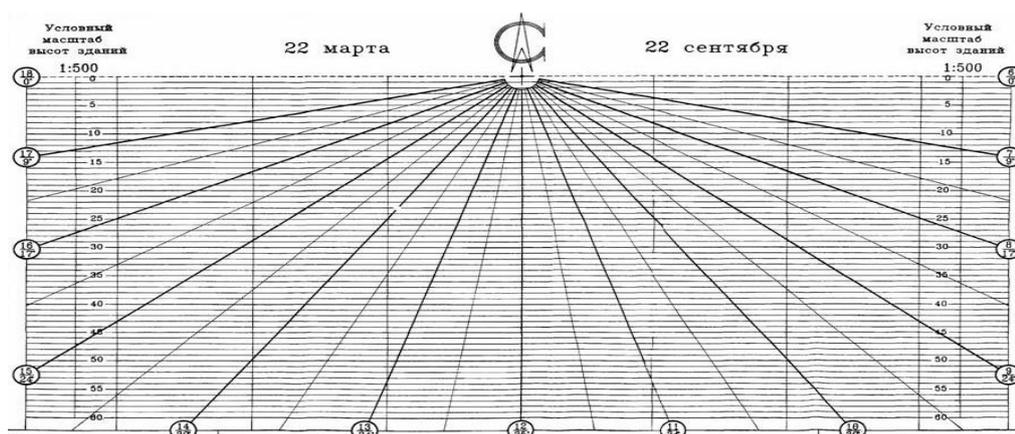


Рис. 5. Инсографик для 55° с.ш. на 22.03 (22.09). М. 1:500

Инсографики строятся для определенной широты местности, для определенных контрольных сроков инсоляции в соответствии с табл. 8.1.14 и для определенного масштаба генплана (1:500) или ситуационного плана (1:2000).

Принцип построения инсографиков подробно описан Н.В. Оболенским. На инсографике (рис. 6) лучи, выходящие из полюса графика, обозначают направление лучей солнца в конкретное время дня (6,7,8...часов). Горизонтальные прямые линии для 22.03 (22.09) или кривые линии для других контрольных сроков показывают превышение верха карниза или парапета кровли противостоящих зданий над расчетной точкой.

Расчетная точка совмещается с полюсом инсографика. Инсографик ориентируется строго по направлению С–Ю на генплане. Части планов зданий или целиком планы зданий, находящиеся ближе к расчетной точке, чем линия, показывающая превышение их над расчетной точкой, затеняют ее. Продолжительность инсоляции определяется по инсографику «с листа», как показано на рис. 6.

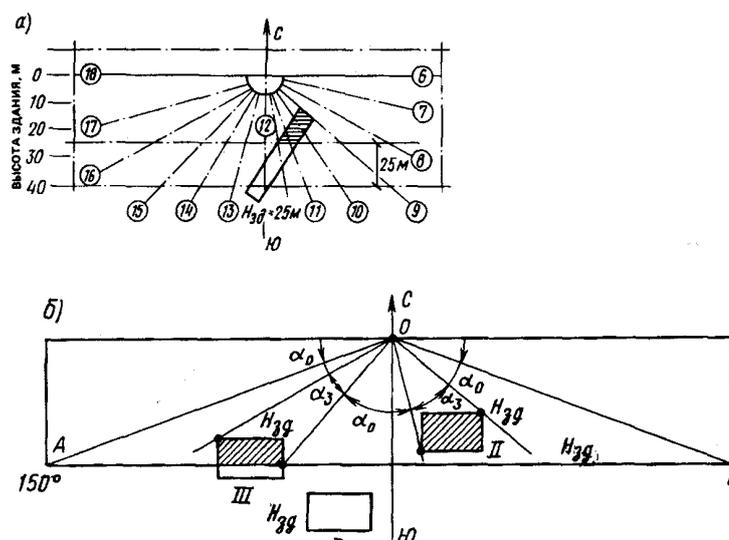


Рис. 6. Работа с инсографиком на генплане основные случаи расположения зданий относительно затененной точки и линии ограничения, соответствующее превышению их над расчетной точкой

а – одно затеняющих здания

б – затеняющих здания из трех и азимуты (углы) затенения и инсоляции соответственно

Расчеты продолжительности инсоляции входят составной частью в проект здания или застройки (раздел «Естественное освещение и инсоляция», который утверждается Архитектурно-планировочным управлением города при согласовании с городским органом Санэпиднадзора).

Солнцезащита

Солнцезащита – это комплекс мероприятий по уменьшению воздействия вредных факторов прямой солнечной радиации на микроклимат помещений, в том числе, перегрева.

В качестве солнцезащиты используются: рациональная ориентация фасадов по сторонам горизонта, рациональное планирование помещений зданий (устройство лоджий, козырьков на фасадах, ориентированных по солнечным румбам горизонта и пр.), посадка зеленых насаждений у фасадов зданий, оборудование светопрозрачных конструкций солнцезащитными устройствами (СЗУ).

В соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076 при устройстве окон западной и юго-западной ориентации в строящихся и реконструируемых зданиях в жилых помещениях общежитий, основных функциональных помещениях ДДУ, образовательных организаций, общеобразовательных организаций с интернатами, и других средних специальных учебных заведений, лечебно-профилактических, санаторно-оздоровительных учреждений, учреждений социального обеспечения должны быть предусмотрены средства солнцезащиты.

Комплекс мероприятий по солнцезащите должен быть предусмотрен в помещениях гражданских и производственных зданий, где в соответствии с СП 52.13330 выполняются зрительные работы высокой, очень высокой и наивысшей точности.

Наличие солнцезащитных устройств может влиять на конструктивное решение и монтаж светопрозрачных конструкций, что должно быть учтено при проектировании зданий и сооружений. При проектировании солнцезащитных устройств следует учитывать основные требования к их влиянию на микроклимат помещений и энергосбережение:

- снижение теплоступлений в помещения в теплый период года (пассивное охлаждение);

- снижение теплопотерь и максимальные теплопоступления в помещения в холодный период года (пассивный солнечный обогрев);

- повышение зрительного комфорта, в том числе, устранение слепящей яркости в производственных и общественных зданиях и сохранение визуального контакта с внешней средой в течение всего года.

Мероприятия по солнцезащите зданий не должны приводить к нарушению требований по инсоляции и естественному освещению помещений не должны препятствовать спасению людей пожарными подразделениями через окна. Подробные правила проектирования СЗУ приведены в СП 370.1325800.2017.

СЗУ являются элементом, способным в значительной степени влиять, а иногда и полностью формировать архитектурный облик зданий (рис. 7 и 8).



Рис. 7. Наружная солнцезащита высотных зданий

Проектирование солнцезащитных устройств необходимо проводить с учетом климатических условий региона строительства в соответствии с СП 131.13330 и СП 50.13330.2012.

При проектировании солнцезащитных устройств для учета как пассивного охлаждения в теплый период года, так и пассивного отопления в холодный период года надо учитывать суммарную солнечную радиацию при

действительной облачности в месте строительства и ориентацию фасадов здания.



Рис. 8. Технологический институт в Рангуне (Бирма)

Отличия в положениях Солнца для различных ориентаций и времени года определяются по суточному конусу солнечных лучей (рис. 9).

На рис. 10 приведена карта зонирования территории Российской Федерации по суммарной солнечной радиации на горизонтальной поверхности при действительных условиях облачности. Для проектирования рациональных СЗУ по условиям суммарной годовой солнечной радиации на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности определены пять основных зон (рис. 12):

- первая – 900 кВт·ч/м² и менее;
- вторая – св. 900 до 1000 кВт·ч/м²;
- третья – св. 1000 до 1100 кВт·ч/м²;
- четвертая – св. 1100 до 1200 кВт·ч/м²;
- пятая зона – св. 1200 кВт·ч/м².

В период перегрева (период охлаждения зданий) следует предусматривать экранирование светопрозрачных конструкций в зависимости от суммарного количества солнечной радиации:

- в первой зоне – не регламентируется;
- во второй зоне – с 22 мая по 22 июля;
- в третьей и четвертой зонах – с 22 апреля по 22 августа;
- в пятой зоне – с 22 марта по 22 сентября.

В климатических районах с преобладанием солнечной погоды в холодный период года необходимо предусматривать возможность обеспечения пассивного солнечного отопления помещений для снижения энергетических затрат на работу систем отопления зданий.

Солнцезащитные устройства классифицируются в соответствии с ГОСТ 33125 по следующим показателям:- месту установки и положению относительно светопрозрачной конструкции;- типу солнцезащитного устройства и конструкции затеняющих элементов;- способу управления и методу регулирования;- ориентации затеняющих элементов;- материалу изготовления затеняющих элементов;- уровню солнцезащиты.

По месту установки и положению относительно светопрозрачной конструкции различают СЗУ:

- наружные;
- межстекольные;
- межстекольные с вентилированием межстекольного пространства для установки в двойных фасадах;
- внутренние;
- комбинация некоторых из перечисленных мест установки.

По способу управления различают следующие основные типы СЗУ:

- стационарные, нерегулируемые, включая солнцезащитные и мультифункциональные стекла и стекла с установленными на них солнцезащитными пленками (геометрические параметры этих СЗУ не меняются в течение всего срока эксплуатации);
- регулируемые (геометрические параметры этих СЗУ могут изменяться).

По способу регулирования СЗУ могут быть:

- активно регулируемые – геометрические параметры таких СЗУ без автоматизированных алгоритмов регулирования и могут быть изменены пользователем напрямую или с применением специальных систем управления;
- циклически регулируемые – геометрические параметры СЗУ изменяются соответствующей системой управления согласно заданному пользователем или проектом циклу (суточному или годичному);
- адаптивно регулируемые – геометрические параметры СЗУ изменяются в зависимости от условий внешней среды, в частности температуры воздуха и интенсивности солнечной радиации;
- пассивно-адаптивными – геометрические параметры СЗУ изменяются непосредственно условиями среды за счет температурной деформации или изменения агрегатного состояния материалов;

- активно-адаптивными – геометрические параметры СЗУ изменяются соответствующей системой управления в зависимости от данных оборудования метеорологического наблюдения.

Основные виды управления и методов регулирования СЗУ приведены в [8.1.51].

По положению направляющих затеняющих элементов следует различать СЗУ:

- горизонтальные – в которых затеняющие элементы расположены горизонтально. В качестве горизонтальных СЗУ могут использоваться жалюзи с горизонтальными ламелями, летние помещения следующего этажа, такие как балконы и лоджии, а также консоли и козырьки над светопроемами;

- вертикальные – в которых затеняющие элементы расположены вертикально. В качестве вертикальных СЗУ могут использоваться жалюзи с вертикальными ламелями, а также боковые стенки лоджий, ризалиты, и другие внешние элементы дома;

- общего положения – в которых затеняющие элементы расположены под углом к проекции светопроема. В качестве СЗУ общего положения могут использоваться жалюзи с наклонными ламелями;

- комбинированные – состоящие из двух или более систем затеняющих элементов разного положения. В качестве комбинированных СЗУ могут использоваться сотовые конструкции, состоящие из вертикальных и горизонтальных элементов.

В СЗУ плоскости ламелей могут быть расположены как перпендикулярно к плоскости фасада, так и под определенным углом к этой плоскости.

Для изготовления затеняющих элементов солнцезащитных устройств применяются металл, пластик, ткань, дерево, декоративный бетон, стекло, композитные и другие материалы с малыми значениями теплоемкости.

Для солнцезащиты помещений могут применяться специальные солнцезащитные и мультифункциональные стекла и пленки – разновидность наружных СЗУ.

СЗУ классифицируют по уровню солнцезащиты в соответствии с табл. 2 по значениям общего солнечного фактора $g_{\text{общ}}$ (коэффициенту пропускания солнечной радиации).

Значение общего солнечного фактора определяется по формуле (3):

$$g_{\text{общ}} = g_{\text{СЗУ}} \cdot g_{\text{ост}}, \quad (3)$$

где: $g_{\text{СЗУ}}$ – солнечный фактор солнцезащитного устройства;

$g_{\text{ост}}$ – солнечный фактор остекления.

Таблица 2.

Классификация СЗУ по уровню солнцезащиты

Уровень солнцезащиты	Солнечный фактор, $g_{\text{общ}}$, отн. ед.
Очень высокий	0 – 0,20
Высокий	0,21 – 0,40
Средний	0,41 – 0,60
Низкий	0,61 – 0,80
Очень низкий	0,81 – 1,00

СЗУ (за исключением стационарных) могут быть с изменяемыми уровнями солнцезащиты в зависимости от положения затеняющих элементов.

На южных и юго-западных фасадах зданий рекомендуется применять СЗУ с высоким и очень высоким уровнем солнцезащиты.

При проектировании солнцезащитных устройств зданий следует учитывать требования, направленные на обеспечение теплового и визуального комфорта в помещениях, прочности и устойчивости СЗУ (ветровые и снеговые нагрузки), атмосферостойкости и коррозионной стойкости (эксплуатационные требования).

Для обеспечения теплового комфорта в помещениях необходимо:

- минимизировать значение общего солнечного фактора в перегревный период года (период охлаждения зданий);

- учитывать фактор вторичных теплопоступлений за счет нагрева СЗУ.

При проектировании солнцезащитных устройств следует учитывать, что СЗУ влияют на тепловой режим помещений, в том числе:

- в период охлаждения за счет снижения поступлений прямой и рассеянной солнечной радиации уменьшается температура воздуха в помещении, что снижает потребляемую мощность систем охлаждения и кондиционирования воздуха;

- за счет вторичных теплопоступлений от солнцезащитного устройства возможны более высокие локальные значения температуры внутреннего воздуха;

- солнцезащитные устройства могут предотвращать прямое облучение людей и поверхностей в помещении прямой солнечной радиацией;

- солнцезащитные устройства могут не препятствовать попаданию солнечной энергии в помещение в отопительный период.

Параметры микроклимата в помещениях должны соответствовать ГОСТ 30494.

Коэффициент теплопропускания (коэффициент пропускания солнечной радиации) солнцезащитного устройства должен быть не более:

0,2 – для жилых зданий, больничных учреждений, диспансеров, амбулаторно-поликлинических учреждений, родильных домов, домов ребенка, домов – интернатов для престарелых и инвалидов, детских садов, яслей, яслей-садов и детских домов;

0,4 – производственных зданий, в которых должны соблюдаться заданные параметры микроклимата в рабочей зоне или по условиям технологии должны поддерживаться постоянными температура или температура и относительная влажность воздуха в здании.

Лекция 8. Проектирование залов большой вместимости

Во многих видах общественных зданий предусматривается размещение большого количества людей в одном большом помещении. Это кинотеатры, театры, концертные залы, клубы, спортивные сооружения, учебные заведения и др. В таких помещениях кроме физического размещения большого числа людей необходимо обеспечить для них комфортные условия температурно-влажностного режима, чистоты воздуха, пожарной безопасности, эвакуации в комфортных и аварийных условиях. Эти характеристики рассматриваются отдельно. В этой лекции мы рассмотрим два специфических для залов большой вместимости параметра: **ЗРИТЕЛЬНОЕ ВОСПРИЯТИЕ** и **ВИДИМОСТЬ** объектов, а также **АКУСТИКУ** залов. В зависимости от назначения здания объектами могут быть киноэкран, театральная сцена, спортивная арена, концертная эстрада, интерактивная доска и т.п.

Под **видимостью** понимается возможность полного или частичного наблюдения объекта. Это значит, что лучи зрения от глаза наблюдателя проходят ко всем или к части точек наблюдаемого объекта.

Под **зрительным восприятием** понимается возможность воспринять глазами человека с той или иной степенью чёткости наблюдаемый объект. Зрительное восприятие зависит от удаления наблюдателя от удаления и величины наблюдаемого объекта, состояния слоя воздуха между наблюдателем и объектом, яркости объекта, его цвета и фона, от угла зрения, под которым наблюдатель видит объект. Этот фактор является одним из основных, которые влияют на объёмно-планировочное решение интерьера зала и размещение зрительских мест. При решении архитектурных задач учитываются только геометрические условия зрительного восприятия и видимости. При этом предполагается, что условия, зависящие от состояния физической среды (освещенности, цвета объекта и фона, прозрачности атмосферы), наиболее благоприятны.

К геометрическим параметрам работы органов зрения относится острота зрения, т.е. способность глаза видеть отдельно два расположенных рядом предмета, например, две точки А и В (рис.1).

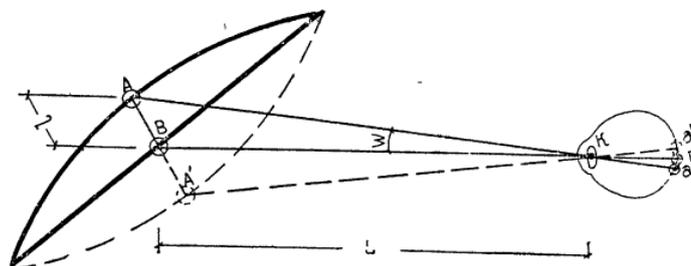


Рис. 1. Схемы построения разрешающего угла

l – расстояние между наблюдаемыми точками

L – удаление объекта наблюдения

Соответствующий расстоянию до предмета (L) угол, называется разрешающим. Он характеризует остроту зрения (V), которая обратно пропорциональна углу (W).

Для полноценного зрительного восприятия большинства объектов в зрительных залах большой вместимости большое значение имеет не только конус ясного видения, но и периферическое зрение человека (уголками глаз). При неподвижном взоре человека горизонтальный угол периферического зрения составляет около $150 - 160^{\circ}$, а вертикальный – около 130° . Периферическое зрение позволяет охватить взглядом большую зону вокруг конуса ясного видения, что создает ощущение объемности наблюдаемого объекта, глубины и пространства.

Предельное удаление зрителей от объекта наблюдения зависит от величины детали, различимость которой необходима для чёткого зрительного восприятия формы и положения в пространстве наблюдаемого объекта. Величина детали определяется особенностью зрелища и наблюдаемого объекта.

Например, в драматических театрах – это глаза актёра, определяющие эмоции актеров. Т.е. это $15 - 20$ мм, при игре в футбол – это диаметр мяча, т.е. 0.22 м. В этом случае удаление зрителей от противоположного угла футбольного

поля принимается равным 189м. Данные о предельных удалениях для некоторых видов зрелищ приводятся в соответствующих главах СНиП и СП.

Качество зрительного восприятия и соразмерности частей наблюдаемого предмета определяется горизонтальными и вертикальными углами видения. Это может быть проиллюстрировано на рис.2.

В театре наименьшее искажение пропорций фигуры актера достигается когда глаз зрителя расположен на уровне середины его роста. По мере отклонения луча зрения от горизонтали пропорции фигуры все более искажаются. Объектом наблюдения в кинотеатре служит поверхность экрана. Поэтому геометрические параметры залов кинотеатров устанавливаются в зависимости от типа экрана (обычный, широкоэкранный, широкоформатный) и вместимости залов (рис.3).



Рис. 2. Искажение пропорций в зависимости от вертикального угла зрения

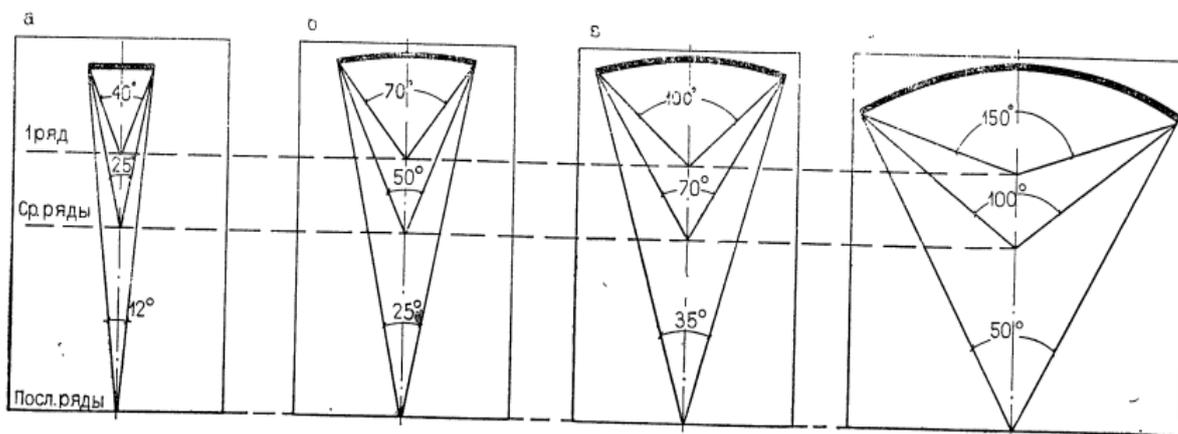


Рис. 3. Горизонтальные углы обзора различных экранов

а - при обычном экране

б - при широком экране

в - при широкоформатном экране

г - при панорамном экране

Определяющей величиной является предельное удаление зрителя от экрана $D=1$. Для прямоугольных залов $D=1 \cdot N$, для трапециевидных $D=0,951 \cdot N$. (N - число зрителей в партере), но не более 45м. Ширина рабочего поля обычного экрана $Ш=0,25D$, широкого – $Ш=0,43D$, широкоформатного экрана – $Ш=0,6D$. Соответственно высоты экранов (B) делятся на 1,37, на 2,35 и на 2. Эти исходные данные позволяют установить общие геометрические параметры кинозалов в плане. На рис.4 показано расположение проекционной аппаратуры кинотеатра в разрезе.

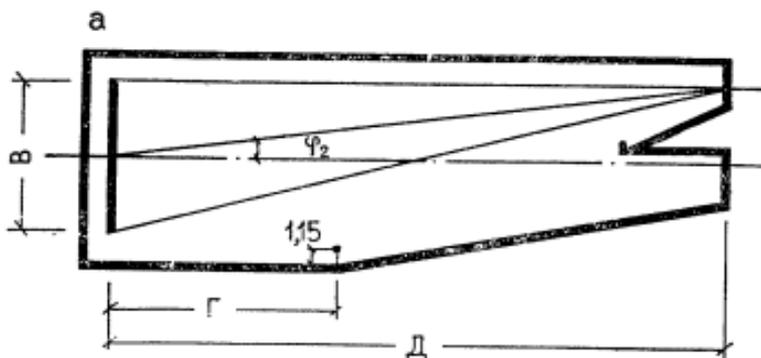


Рис.4. Основные геометрические параметры взаимного расположения экрана, проекционной аппаратуры и зрительских мест в разрезе кинотеатра

Излишнее приближение к экрану зрителей ухудшает зрительное восприятие (искажение формы и зернистость изображения). Поэтому минимальное удаление первого ряда от экрана устанавливается для широкоформатных экранов $\Gamma=0,6$ Ш, для широких экранов $0,84$ Ш, для обычных экранов $1,44$ Ш. Плоский экран должен находиться для каждого зрителя в пределах угла ясного видения. Для широких и широкоформатных экранов угол ясного видения охватывает ту часть экрана, на которой в данный момент происходит действие. Остальная часть находится в зоне периферического зрения. Это обеспечивает более объемное и пространственное восприятие изображения.

Гораздо более сложным является объёмно-планировочное решение театров и театральных залов. Особенностью условий зрительного восприятия в театральных залах является наблюдение сценического действия через портал сцены. Разрешающий угол здесь определяется размером глаза актёра $-1,5 - 2$ см. Исходя из этого и из особенностей направленного яркого освещения на сцене и т.п. предельное удаление зрителей установлено $27 - 30$ м, чему соответствует разрешающий угол $2,5 - 3^0$. От этого зависит размещение зрительских мест – обеспечение возможности наблюдения большей части сцены. Геометрические параметры театрального зала традиционного типа с глубинной сценой представлены на рис.5.

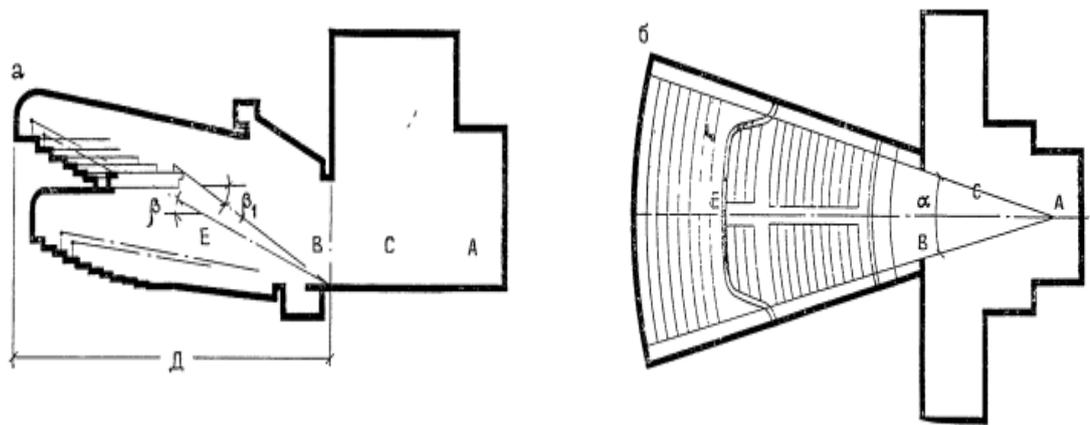


Рис. 5. Геометрические параметры театрального зала традиционного типа

a – разрез

б – план

E – зрительный зал

C – сцена

A- аррьерсцена

B – авансцена

Д – предельное удаление зрительских мест от портала сцены

α - центральный граничный горизонтальный угол размещения зрительских мест, равный 30°

β - граничный вертикальный угол, принимаемый от 26 до 30° по оси зала

β₁ - для ближайших к сцене боковых мест

В театральных залах нового типа со сценической площадкой нового типа, вынесенной в зрительный зал, горизонтальный угол раскрытия портала к зрительному залу принимается от 60 до 120°. Примерный разрез и план такого театрального зала показан на рис.7. Лучи зрения направляются от глаза наблюдателя к центру портала в плане на полу. Угол подъема для всех типов театров составляет от 26 до 40°.

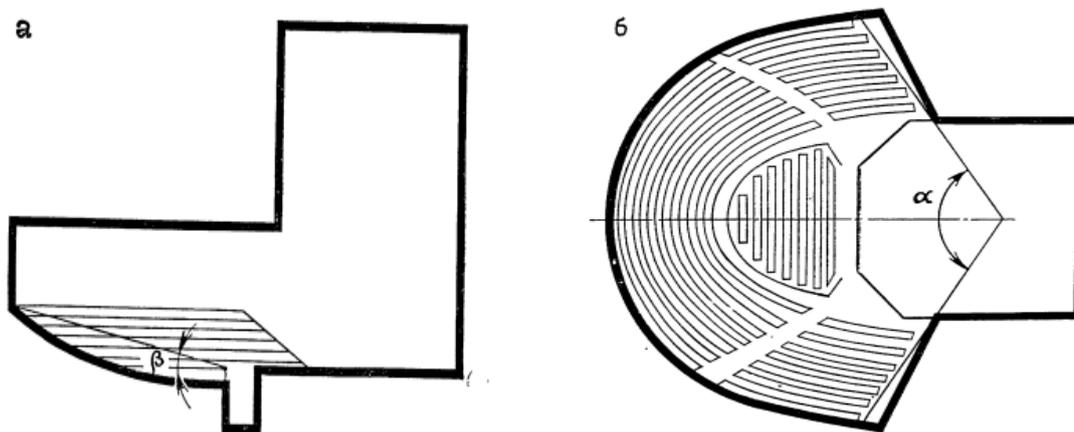


Рис. 6. Геометрические параметры театрального зала нового типа

a – разрез

б – план

Особенность концертных залов – отсутствие порталов и расположение сцены в одном объёме со зрительным залом. Сцена может быть раскрыта по отношению к зрительному залу на всю ширину. Иногда сцена размещается в окружении зрительных мест с трёх сторон. Горизонтальный угол раскрытия сцены к залу принимается от 60 до 120 градусов, а вертикальный – от 26 до 40 градусов. В концертных залах усредненная различимость деталей принимается 3 – 4см и предельное удаление зрителя от сцены при разрешающем угле 2,3 – 3 минуты составляет 30-35м.

В настоящее время широкое распространение получили универсальные залы, в которых проводятся спортивные соревнования, в том числе хоккейные матчи, соревнования по фигурному катанию. Это предполагает трансформацию спортивной арены и различное расположение зрительских мест. Кроме того, такие залы используются также для концертных мероприятий, больших общественных собраний, различных представлений. В больших универсальных залах проводится до 60 видов различных мероприятий, имеющих различные объекты наблюдения. Это представляет сложную задачу для проектирования. При этом нельзя создать одинаковое по качеству зрительное восприятие со всех зрительских мест для любых мероприятий.

В учебных классах и аудиториях основной объект наблюдения – плоскостной (меловая доска или интерактивный экран). Меловая доска обычно освещается естественным или искусственным светом. Для обеспечения чёткой видимости штриха при разрешающем угле $W=1,15'$ предельное удаление составляет 15м. Для школьных классов с учетом физиологии зрения подростков предельное удаление нормами установлено 10м (рис.7).

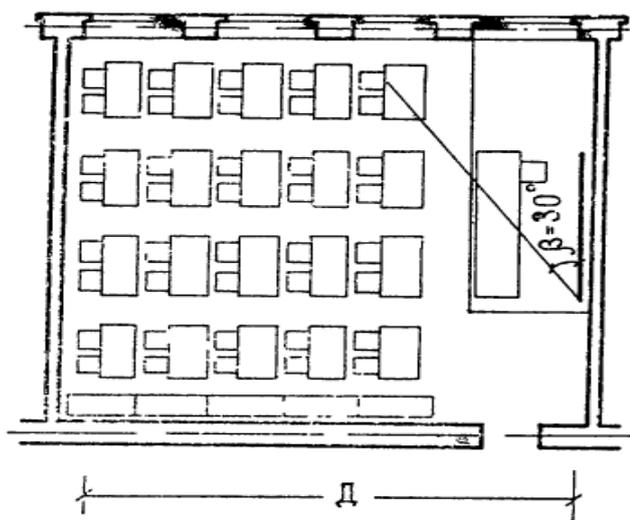


Рис. 7. Геометрические параметры учебных помещений.

D – предельное удаление

β – граничный угол 30

Пространственное построение зрительских мест с учетом видимости объектов наблюдения – важнейший элемент проектирования всех видов помещений и сооружений с местами для зрителей. **Беспрепятственная видимость** предполагает такое размещение зрителей относительно объекта наблюдения, при котором в поле зрения каждого зрителя находится полностью весь объект наблюдения. При ограниченной видимости в поле зрения находится только часть объекта наблюдения, а остальная часть заслонена находящимися впереди людьми. Минимально ограниченная видимость предполагает такие условия, при которых невидимая часть объекта минимальна, кроме того обеспечивается видимость этой заслоненной части объекта при некотором отклонении зрителя в сторону (в пределах 0,4 ширины места в каждую сторону).

Пространственное построение зала определяется размещением зрителей в горизонтальной и вертикальной плоскостях, т.е. в плане и разрезе помещения. Места можно размещать в линейном порядке в затылок и в шахматном порядке.

В качестве объекта наблюдения берется горизонтальная проекция центральной части портала сцены. К ней проводятся лучи зрения при ограниченной видимости, когда головы впереди сидящих людей частично заслоняют объект наблюдения. Зоны беспрепятственной видимости составляют соответственно при линейном расположении в затылок 42%, 14% и 34%. При шахматном расположении соответственно 52%, 19% и 29%. Таким образом шахматная расстановка зрительских мест обеспечивает значительные преимущества условий видимости. Однако ряды с уступами зрительских мест при шахматном расположении ограничивают проходы в зрительном зале, что приводит к неэкономичному использованию его площади. Поэтому возможность перемещения головы на 0.4 ширины места приводит к тому, что сейчас принята линейная схема, как более экономичная. При криволинейном расположении зрительских мест линейная и шахматная схема могут сочетаться друг с другом.

Условия беспрепятственной видимости в вертикальной плоскости обеспечиваются таким взаимным расположением объекта и зрителей, при котором лучи зрения ко всем частям объекта проходят над головами впереди сидящих людей. Прежде всего надо выбрать объект наблюдения, его положение и наиболее неблагоприятную точку наблюдения. Как правило, это нижняя точка объекта. **Она называется расчётной точкой видимости.** В кинотеатрах это нижняя точка экрана в его центре. В театрах и эстрадах – это точка на уровне пола сцены по её центральной оси на расстоянии 1 – 2 м от переднего края авансцены или на линии портала. В цирках – это ближайший к зрителю край барьера арены и т.п. Уровень глаз сидящего зрителя над полом принимается 1,15 м. (это установлено в среднем на основе антропометрических измерений). Также в среднем принято превышение луча зрения над головой впереди сидящего зрителя согласно (рис.8).

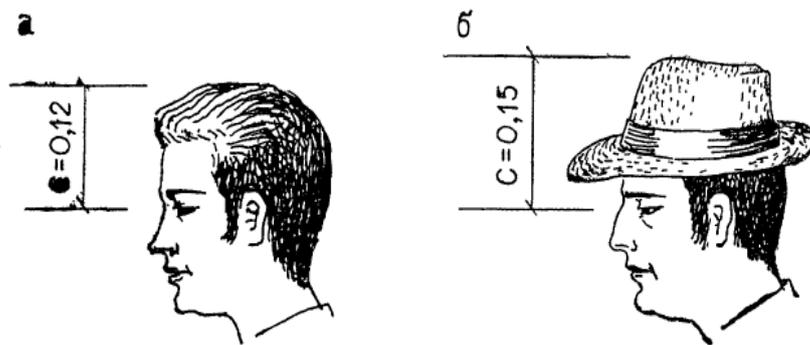


Рис. 8. Величина превышения луча зрения
 а - для зрителей в закрытых помещениях
 б - для зрителей, сидящих на открытых трибунах

При расположении мест на горизонтальной плоскости (рис.9)

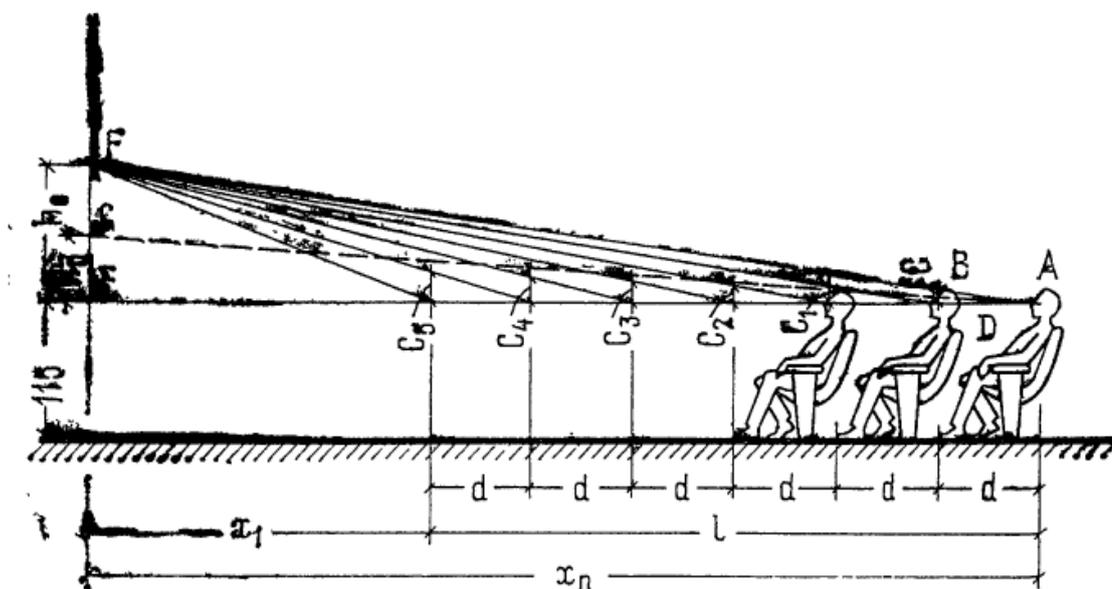


Рис. 9. Схема к расчету предельного удаления зрителей от объекта наблюдения в залах с горизонтальным полом

В зрительных залах и сооружениях большой вместимости беспрепятственная видимость объектов наблюдения осуществляется последовательным подъёмом рядов зрительских мест. Это приводит к увеличению объёма зрительного зала за счет увеличения его высоты. Для уменьшения подъёма рядов и высоты зала в театрах и концертных залах принимается минимально ограниченная видимость с превышением луча зрения $C = 0,06 - 0,08$ м. При расположении рядов мест по наклонной прямой ступени

При этом допускается совмещать положение глаз зрителя каждого ряда с его границей, т.е. со спинкой кресла. От уровня глаз зрителя первого ряда вверх откладывается отрезок C , равный нормативному для данного здания или сооружения, и из точки F через вершину этого отрезка проводят прямую линию до пересечения с задней границей второго ряда. Для следующих рядов это действие последовательно повторяется. Таким образом мы получаем профиль **кривой наименьшего подъёма** рядов мест при обеспечении для всех рядов условий беспрепятственной видимости. Полученная кривая близка к гиперболе.

Как и все графические методы этот метод прост, но несовершенен. Величины удаления от точки F и подъём рядов оцениваются десятками метров, а превышение лучей зрения – сотыми долями метра. Поэтому требуется большой масштаб чертежа. Более надёжным, точным и практичным является аналитический метод. Он основан на геометрическом подобии последовательной серии треугольников, образованных лучами зрения от глаза наблюдателя соответствующего ряда к точке объекта наблюдения и горизонтального расстояния от наблюдателя до этой точки и эмпирического коэффициента сглаживания ломанной линии. Метод был разработан выдающимся ученым А.М. Данилюком в 60-х годах прошлого века.

Недостатком подъёма мест по кривой беспрепятственной видимости является то, что кривизна подъёма от ряда к ряду изменяется и все ступени получаются разной высоты. Это усложняет и удорожает строительство и делает спуск и подъём менее безопасным. Поэтому в практике проектирования вместо криволинейного применяют профиль подъёма рядов мест в виде ломаной линии, состоящей из отрезков наклонных прямых, вписанных в кривую наименьшего подъёма, в виде хорд отдельных участков этой кривой. Примерная схема профиля подъёма рядов показана на рис.11.

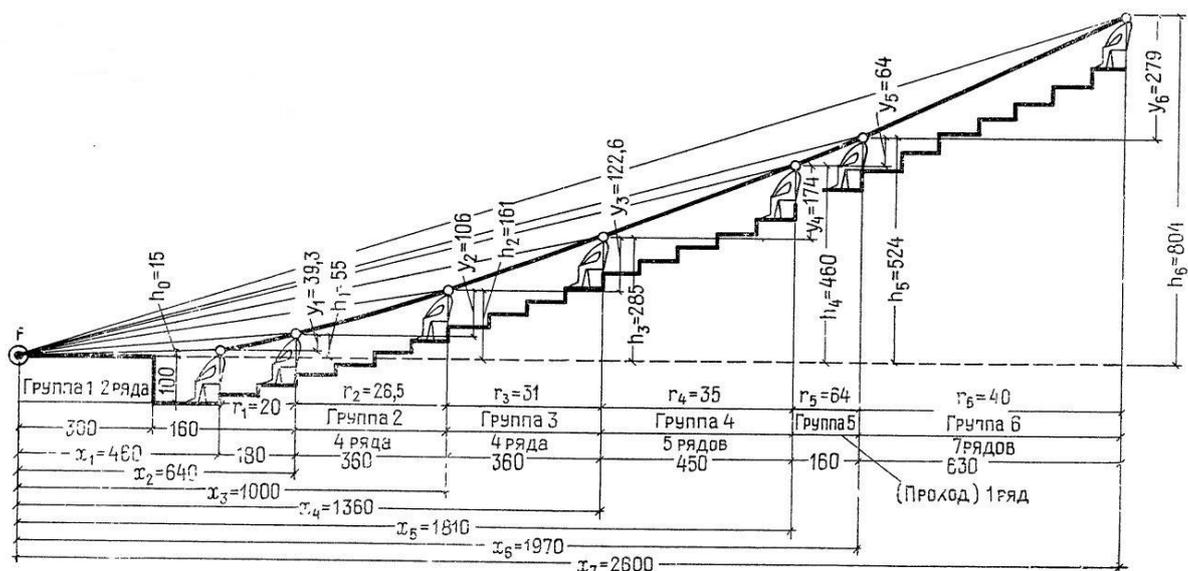


Рис. 11. Схема к расчету профиля подъема зрительских мест по ломаной линии. Здесь r_{1-6} — высота подступёнка

Профиль подъёма рядов, как правило, определяется по центральной оси зала. Если профиль обеспечивает условия беспрепятственной видимости, то проверки профилей для косых лучей зрения не требуется, так как по косому направлению ширина ряда всегда больше, чем по перпендикулярному.

Акустика залов

Современные театрально-концертные залы и кинотеатры оснащаются средствами электронной акустики, которые создают в залах объёмный звук, чёткое понимание речи, современное музыкальное сопровождение. При этом акустические качества помещений следует обязательно учитывать, так как они могут мешать электронной акустике. Архитекторы идут по простому пути. Они полностью «заглушают» зал, то есть делают его звукопоглощение максимальным. Однако все лучшие залы во всём мире, где звучит классическая музыка, основаны на естественной акустике. В Москве к лучшим в акустическом отношении залам относится Большой зал консерватории. Шедевром архитектурной акустики является зал Египетского павильона Останкинского дворца-музея, в котором ещё во второй половине XX века устраивались концерты старинной музыки. Все лучшие концертные залы Европы, Америки и

Австралии имеют прекрасную естественную акустику, которая лишь в незначительной степени дополняется электронными средствами усиления звука.

Существует три метода расчета параметров звукового поля, которые основаны на геометрической, волновой и статистической акустике. В декартовых координатах x , y , z дифференциальное волновое уравнение для трёхмерного пространства связывает звуковое давление в среде со скоростью звука и со временем. Расчёт звукового давления, особенно в области высоких и средних частот, этим методом невозможен без специальных программ для ЭВМ, хотя его точность высока. Для проектирования залов больше подходит геометрическая акустика, где при рассмотрении отражения звуковых волн от поверхностей помещения используются понятия фронт волны и звуковые лучи, которые указывают направление распространения волны. Геометрическая акустика позволяет на стадии проектирования произвести анализ формы помещения, например, зала, на предмет выявления акустических дефектов. Такое построение звуковых лучей называется лучевым эскизом (рис.12). Среди акустических дефектов важнейшим является превышение предельного запаздывания первых отражений звука, которое воспринимается как эхо. Определение запаздывания первого отражения от какой-либо поверхности согласно схеме (на рис.13) производится по формуле:

$$t = (l_1 + l_2 + l_3) / 360 < 0,05c;$$

где: 360 м/с – скорость звука в воздухе. Если прямой и отраженный звук воспринимаются отдельно, то возникает эхо.

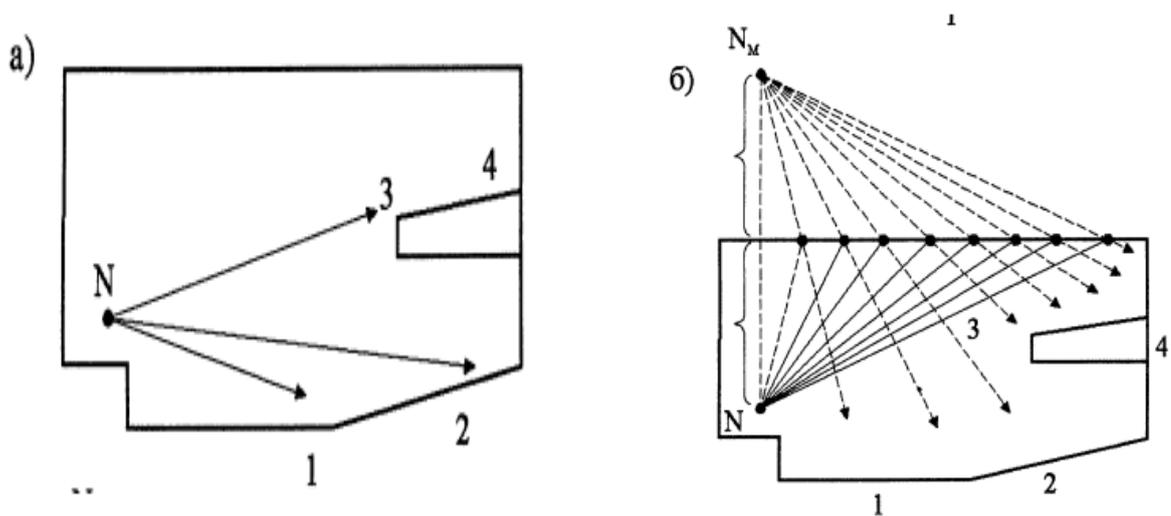


Рис.12. Распространение звуковых лучей

а – прямых

б - отраженных

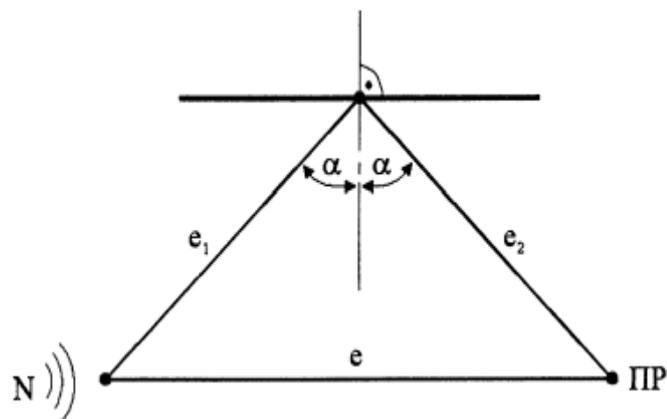


Рис. 13. Схема к определению времени предельного запаздывания

В архитектурном проектировании залов для практических целей получил распространение только один критерий геометрической акустики – недопущение предельного запаздывания. Плоскости на лучевом эскизе, отражение от которых приходит к слушателям позднее времени предельного запаздывания, должны обрабатываться звукопоглотителями. В основном это задние поверхности зала на стенах и потолке. Но во всех случаях это должно проверяться построениями и расчетами.

Отражение звуковых волн можно считать направленным, если наименьший размер отражающей поверхности не менее, чем в 1,5 раза превышает длину волны. При невыполнении этого условия звуковые волны рассеиваются и построение звуковых лучей теряет смысл.

В помещении через каждую точку объема проходит большое количество отражённых звуковых волн, распространяющихся по разным направлениям. **Статистическая акустика** предполагает, что направления, амплитуды и фазы колебаний накладываются друг на друга и распределены хаотически. Они образуют **звуковое поле**, близкое к **диффузному**. Его основной характеристикой является средний уровень звукового давления, который ослабляется **звукопоглощением**. Оно характеризуется величиной среднего коэффициента звукопоглощения:

$$\alpha_{\text{ср.}} = A_{\text{общ.}} / S_{\text{общ.}},$$

где $S_{\text{общ.}}$ – суммарная площадь ограждающих поверхностей.

На рис.4 представлена кривая нарастания и затухания плотности звуковой энергии в помещении зала. Процесс затухания звука после выключения источника называется **реверберацией**. Время, в течение которого происходит затухание звука, называется **временем реверберации**. Этот процесс происходит за счёт многократных отражений звуковых волн от ограждающих поверхностей помещения после прекращения действия источника звука. Затухание происходит от максимального до в 10^6 раз меньшего (или до уменьшения уровня звукового давления на 60 дБ). Время реверберации определяется по формуле:

Эта формула выводится из дифференциального уравнения, описывающего режим динамического равновесия, при величине мощности, излучаемой источником, равной нулю. Вывод формулы приведен в книге С.Д.Ковригина *Архитектурно-строительная акустика*. М. Высшая школа. 1980.

Время реверберации характеризует качество звучания музыки и разборчивость речи в помещении. Поэтому оно принято в качестве ещё одного критерия акустики помещений при практических расчетах и проектировании.