

КРАТКИЙ КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫЕ И ВЫСОТНЫЕ ЗДАНИЯ»

1. Понятие тектоники в строительстве и архитектуре. Виды тектонических систем.
2. История возникновения большепролетных зданий и их эволюция. Комплекс задач, которые возникают при проектировании и строительстве зданий с зальным помещением.
3. Конструкции покрытий большепролетных помещений и выбор материала для конструкций покрытия.
4. Плоскостные большепролетные конструкции покрытий. Балки. Фермы. Рамы. Арки.
5. Пространственные большепролетные конструкции покрытий. Складки. Своды. Оболочки. Купола. Перекрестно-ребристые и перекрестно-стержневые покрытия.
6. Висячие (вантовые) конструкции зданий и сооружений. Висячие покрытия. Покрытия с жесткими вантами и мембраны. Конструктивные элементы и детали вантовых покрытий.
7. Комбинированные системы большепролетных зданий.
8. Трансформируемые и пневматические покрытия большепролетных зданий.
9. Высотное строительство. История возникновения и эволюция развития.
10. Типология высотных зданий.
11. Конструктивные системы высотных зданий.

1. Понятие тектоники в строительстве и архитектуре. Виды тектонических систем.

В архитектуре тектоникой называют художественное выражение работы конструкций и материала. Ю. П. Волчек, один из исследователей архитектурной тектоники, назвал её «взаимосвязью художественного и технологического способов мышления и деятельности в материале». В 30-е годы под тектоникой понимали «закономерности построения пространства». Такое определение было предложено А.А. Весниным.

Все эти определения в каких-то отношениях справедливы. Все зависит от того, какой из аспектов сложных взаимодействий формы и конструкции интересовал автора. Поскольку понятие тектоники интересует нас в его взаимосвязи с архитектурной композицией, а сама тектоника рассматривается, как средство композиции, мы можем присоединиться к мнению известного советского архитектора А.К. Бурова о тектонике как результате «пластически разработанной, художественно осмысленной конструкции».

Поскольку процесс развития художественного осмысления действительности, частью которой является и архитектура, приобретал определенные формы во времени, что относится также и к конструктивным системам, понимание тектоники и воплощение этого понимания в профессиональной деятельности архитектора также изменялись. Категория тектоники исторична по своей сути.

Тектоника сооружений возникает из конструкции и работы материала и неотделима от них. Целесообразно поэтому конкретный анализ тектонических средств архитектуры связать с основными типами конструкций и рассматривать их как виды тектонических систем.

Тектоника стеновых конструкций. Стена - массивная конструкция, совмещающая функцию ограждения и расчленения пространства с функцией восприятия нагрузок, образуемых собственным весом, весом перекрытий и кровли, а также тех нагрузок, которые связаны с процессами, происходящими в здании. Первые стены в лесных районах сооружались из брёвен. Пластика поля деревянной стены определяется самим материалом-подбором брёвен. До тех пор, пока не был изобретён косяк, окна в стене вырубались лишь в полдерева, т.к. полная прорубка нескольких рядов брёвен ослабляла стену. С изобретением косяка появилась возможность вырезки вертикальных окон. Обрамление проёмов, наличники, ставни, коньковый брус-все эти архитектурные детали как бы собирают в одно художественное целое бревенчатый сруб и кровлю и становятся самостоятельными тектоническими элементами. Русские северные избы и деревянные церкви, альпийские дома Швейцарии и Австрии представляют замечательные образцы тектонически совершенных сооружений рубленной бревенчатой конструкции.

«Классическая» завершённость системы профилировки каменной стены была достигнута архитектурой Италии в эпоху Возрождения. Здесь наиболее последовательно и художественно

убедительно использован принцип постепенного изменения нагрузки стены в зависимости от её роста вверх.

В русской архитектуре широко применялась кладка стен из кирпича. По мере распространения железобетонных перемычек, перекрытий и структурных каркасов организация проёма уже не лимитируется прочностью самого материала стены. Увеличение размеров элементов кладки стены привело к развитию крупноблочного строительства. Принципиально этот вид строительства мало чем отличается от кладки из кирпича. Это также массивная несущая стена. Дальнейшее укрупнение элементов стены определило переход к крупнопанельному строительству.

Тектоника ордерных систем. Ещё на заре строительной деятельности люди при сооружении примитивных жилищ-шалашей, применяли деревянный каркас.

Самой древней конструктивной системой, действующей в наши дни, является стоечно-балочная система. Она возникла ещё в эпоху неолита. Но в архитектурно-композиционном плане сооружения того времени (жилища) не были ещё архитектурой как результатом художественного осмысления действительности. Последовательное развитие и эстетическое осмысление этой системы привели к чёткому расчленению несомых и несущих частей конструкции - опорных столбов и балок. В Древнем Египте из дерева делались стойки и балки, а сырцовый кирпич служил заполнением промежутков каркаса. Так возникла форма колонны. В древнегреческой архитектуре стоечно-балочная конструкция нашла своё выражение в ордере, основными частями которого являются колонна и архитравное перекрытие. В греческой архитектуре сложились 3 ордера: дорический, ионический и коринфский. Все три ордера имеют одни и те же составные части-колонны, антаблемент (система венчания), стилобат (ступенчатое основание). Колонны - это опоры, поддерживающие антаблемент, они завершаются капителями. Верхняя часть капители покрыта плоской плитой-абакой, которая и принимает тяжесть перекрытия. Капитель, являющаяся переходом от ствола колонны к антаблементу, служит для организации конструктивной и зрительной связи между ними. В эпоху Возрождения построение ордера было канонизировано.

Тектоника каркасных сооружений. Стоечно-балочная конструкция послужила основой для новой выразительной тектонической архитектурной формы. Сюда относится деревянное зодчество стран Юго-Восточной Азии и Японии, фахверковые постройки западноевропейского средневековья. Несущей основой фахверковых зданий служил деревянный остов, состоящий из стоек, подкосов и обвязок с заполнением промежутков кирпичом или другим материалом. Часто такая постройка имела массивное каменное основание и сравнительно лёгкие, нависающие один над другим верхние этажи. Консольный вынос балки, не превышающий толщины сечения, позволял, не нарушая устойчивости сооружения, выдвигать верхний этаж относительно предыдущего вперёд почти на толщину стены. Различные системы стоек, балок, ригелей и подкосов, характер их соединения становятся основой выразительных средств фахверковой (стоечно-стеновой) архитектуры.

Применение металлического каркаса и изобретение лифта в конце XIX века привели к созданию многоэтажных сооружений, что в свою очередь значительно стимулировало развитие каркасных систем. Возникают небоскрёбы в Чикаго и Нью-Йорке. Характерным примером является здание страховой компании «Рилайэнс» (1890-1895 г. стр-ва) в Чикаго.

В данное время сложились два композиционно-конструкторских типа каркасных сооружений: с каркасом, скрытым за стенами-ограждениями, и «решёткой» каркаса, выведенной наружу. В первом случае подчёркивается общая форма объёма здания, во втором - начинает сильно звучать ритм членений, выявляемых каркасом. Эти два направления в развитии сооружений определяют их тектонический характер.

В зданиях с навесными стенами чётко разделяются функции несущих и ограждающих частей. Это позволяет более эффективно использовать материалы. Элементы навесных стен выполняются из материалов лёгких, хорошо сохраняющих тепло, каркасы - из материалов высокопрочных, хорошо сопротивляющихся статическим усилиям, что позволяет элементы, составляющие стену, делать очень крупными. Здания при этом монтируются из заранее изготовленных частей.

Тектоника сводчатых конструкций. Стоечно-балочная конструкция из камня не давала возможности создать достаточно обширные пространства, чтобы вместить огромные массы людей.

Проблема была решена путём использования клинчатых арочных конструкций, сводов и куполов. Арочно-сводчатые конструкции позволили по-новому использовать свойства материала. В арке каменные блоки работают только на сжатие, т.е. самым выгодным образом для этого материала. Для сводов и арок не нужны грандиозные камни архитравов. Здесь пригодны блоки того же веса и размера, что и кладки стены. Работа каменной арки может быть обрисована следующим образом. Усилия от веса самой арки и вышележащих конструкций в опорных сечениях могут быть разложены на два направления - вертикальное и горизонтальное. Последнее называется распором. Трибуны Колизея (75-80 гг.), поднимающиеся вокруг эллиптической арены, образуют замкнутую арочную систему и являются примером стоечно-сводчатых конструкций. Основные узлы арочной конструкции римских мостов и акведуков, вошедшие в число великих достижений зодчества-пяты арок, где нагрузка передаётся опорам, и замковые камни, соединяющие арку в единое целое.

Долгое время наиболее распространёнными были два вида сводчатых покрытий: цилиндрический свод и сферический купол, где опорная нагрузка передаётся на весь периметр стен. Новые композиционные возможности появились у зодчих, когда для распределения нагрузки стали использоваться паруса и арки на отдельно стоящих опорах. Специфическая архитектурная форма-парус- служит для организации перехода от опорного кольца купола к квадратной в плане системе опор. Формы парусов отличаются большим разнообразием, а по конструктивной структуре они подразделяются на балочно-консольные и арочно-сводчатые.

Тектоническая ясность в распределении масс и объёмов была достигнута при крестообразной в плане схеме сооружений с полусферой, расположенной в центре на парусах и подпружных арках. Здесь распор передаётся на стены через цилиндрические своды пристроек либо сферические поверхности, венчающие полукруглые в плане ниши. Ярким примером является конструкция собора св. Софии в Константинополе. В готических соборах крестовые своды были высоко подняты на каменных столбах. Система рёбер-нервюр образует каркас, поддерживающий облегчённую кладку свода и передающий нагрузку на опоры. Изобретение нервюр позволило перекрывать крестовыми сводами помещения не только квадратные, но также прямоугольные и полигональные в плане. В эпоху Ренессанса часто использовался купольный свод. При строительстве собора св. Павла в Лондоне (1675-1710) арх-р Рен впервые применил конус как наиболее целесообразную форму, несущую световой фонарь, создав трёхчастную систему, состоящую из внутреннего купола, конуса и внешнего купола.

Тектоника современных пространственных конструкций. Общий технический прогресс, создание высокопрочного железобетона - «армоцемента», применение в строительстве стали и др. эффективных материалов открыли перед архитектурой небывалые возможности. В формообразовании конструкций как решающий фактор выступает логическое распределение усилий в зависимости от свойств и качеств используемого материала и обусловленная жёсткость формы. Эффективность наиболее простых конструкций - железобетонных складок, характеризуется тем, что они могут выдерживать нагрузку, многократно превышающую вес самого изделия. Простота и эффективность складчатых конструкций позволяют применять их для покрытий больших пролётов, а также в рамных и стеновых конструкциях, когда для них необходимы особая лёгкость и прочность. Примером может служить большой зал ЮНЕСКО в Париже (1958г.)

Ещё более полно стала использоваться прочность материала в форме оболочек двойной кривизны или скорлуп, широко распространённых в природе. Классическим примером использования сферической оболочки может служить арена, построенная к Олимпийским играм 1960г. в Риме. Её покрытие собрано из ромбических элементов. Рёбра, концентрируя нагрузку, передают её наклонным вилкообразным опорам, расположенным по окружности.

В современной архитектуре часто применяются формы, составленные из ряда гиперболических поверхностей. Сочленения отдельных гиперболических поверхностей, ограниченных прямыми линиями, могут быть выявлены, если каждая составляющая часть работает самостоятельно, опираясь на свои опоры, либо отдельные поверхности гиперболического параболоида сливаются в более сложную поверхность двойной кривизны. Пример: ресторан в Ксохимилко (1957 г. Мексика).

Полусфера и цилиндр – формы, обладающие наиболее ясными математическими закономерностями,- широко применяются в современной архитектуре.

При строительстве здания аэровокзала в международном аэропорту им. Кеннеди (1962 г.) сделан шаг в развитии пластичности новой архитектурной формы. В формообразовании этого здания нет ни одной простейшей геометрической формы. 4 оболочки двойкой кривизны образуют внутреннее пространство и внешнюю форму, остеклённые ленты зазоров между оболочками служат для того, чтобы в здание сверху поступал дневной свет.

Использование свойств стали не только на сжатие и изгиб, но главным образом на растяжение позволило создать лёгкие подвесные конструкции, которые могут перекрывать огромные пространства при минимальном количестве опор. На этой основе возникла новая архитектурная форма, отличающаяся лёгкостью и изяществом. В 1964 г. при строительстве Национального стадиона в Токио применена оригинальная вантовая конструкция.

Говорить о создании стройной тектонической системы пространственных конструкций ещё преждевременно, хотя отдельные сооружения достигли большой выразительности. С развитием пространственных конструкций открывается возможность создания форм более сложных, чем те, которые доступны элементарной геометрии, и подчиненных геометрическим закономерностям высшего порядка. Несомненно, что развитие пространственных конструкций оказывает революционизирующее влияние на архитектуру. Художественное освоение новых систем - выявление их пластики, соразмерности членений и закономерностей восприятия- основная задача архитектора.

Берущий происхождение от греческого слова *tekton*, означающего «плотник или строитель», термин «тектонический» стал использоваться в середине девятнадцатого века в немецко-говорящих странах. Пытаясь обосновать архитектуру умениями, необходимыми для её создания, Готфрид Земпер в знаменитом эссе, озаглавленном «Четыре элемента архитектуры», противопоставил то, что он назвал тектонической надземной частью - деревянные колонны и крышу – стереотомическому основанию каменной кладки.

Тектоника в архитектуре обозначает контраст между лёгкой надстройкой и тяжёлым приземлённым основанием, символизируя тектоническое выражение. Такой контраст заметен, к примеру, при сопоставлении деревянных и кирпичных элементов во многих отечественных сооружениях, но более всего, возможно, он виден в светоотражающих изогнутых раковинах, парящих над подобной скале платформой Сиднейского оперного театра (1958—73), или в стальном храме Миса ван дер Роэ, посвящённом современной Национальной галерее в Берлине (1962—68).

Земпер заимствовал слово «тектонический» из чрезвычайно значимого описания греческой архитектуры, выполненного Карлом Бёттихером – «Тектоника эллинов» - опубликованным между 1843 и 1852 годами. Бёттихер обращал особое внимание на то, как все части греческого храма усиливали общую архитектурную идею, и слово «тектонический» быстро приобрело более широкое значение завершённой системы строительства, объединяющей все элементы в структурно экспрессивное эстетическое единство формы.

Несмотря на то, что она была сформулирована исходя из простой стоечно-балочной конструкции греческой архитектуры (подобной балочной конструкции), идея тектонической формы стала означать подход, основанный на «рациональном» выражении структуры и конструкции, среди которых готическая архитектура, по мнению Пьюджина и Виолле-ле-Дюка, являла собой более сильную парадигму. Ранние готические сооружения, в которых нагрузка переносилась на заострённые элементы и опорные линии, создавали яркое впечатление игры конструктивных сил. Но, тогда как греческие храмы, чьи колонны буквально раздувались под нагрузкой, готические строители старались найти средства, препятствующие ощущению силы тяжести. Готические соборы пренебрегали ею, растворяя в изобилии изящных колонн и изысканных ажурных переплётах, поэтому Фрэнк Ллойд Райт и обвинял их строителей в том, что они относились к камню, «как к негативному материалу», «не принимая во внимание ни ограничения, ни природу камня».

Акцент на рациональности конструкции, как необходимом следствии тектонического выражения, был со временем оспорен Августом Шмарзовым. В своём эссе 1893 года под названием «Сущность архитектурного творения» он утверждал, что архитекторы могли бы много выиграть, «не

принимая во внимание его полное воплощение в долговечном материале», чтобы, таким образом, заново открыть его «освящённый временем внутренний аспект» как «создательницу пространства». Акцент на пространстве, как важном «материале», стал центральным для модернистской архитектуры, но не так давно был поставлен под сомнение влиятельным критиком Кеннетом Фремптоном, чья книга «Исследования тектонической культуры» 1992 года была направлена на возрождение интереса к идее тектонического выражения. Фремптон считал, что слишком подвижная абстракция пространства была испорчена становящимся всё более ярким миром коммерческого строительства, которому он хочет противопоставить переработанное средствами строительства и природы материалов архитектурное выражение. Таким образом, он надеется, что архитекторы смогут противостоять кажущемуся безжалостному уничтожению их искусства сценографическими эффектами.

2. История возникновения большепролетных зданий и их эволюция. Комплекс задач, которые возникают при проектировании и строительстве зданий с зальным помещением.

Большепролетные конструкции покрытий появились в древние времена. Это были каменные купола и своды; покрытия по деревянным стропилам. Деревянные строительные конструкции были дешевле и проще в возведении, чем каменные и давали возможность перекрывать большие пролеты. Развитие черной металлургии в XVIII – XIX веках дало строителям материалы более прочные, чем камень и дерево – чугун и сталь. Чугунные арочные мосты вскоре вытесняются различными типами мостов из ковкого железа, имеющего большую прочность на изгиб: висячими, балочными и мостами с решетчатыми фермами.

Коротко важнейшие даты:

- ✓ в 1720 году Абрахаму Дерби в Колбрукдейле удаётся выплавить чугун в доменной печи на коксе вместо древесного угля и этим создать предпосылки для массового производства доменного ЧУГУНА;
- ✓ в середине XVIII века в Англии начинается прокат листового железа;
- ✓ в 1784 году стало возможным путем усовершенствования пудлинговых печей переделать доменный чугун в КОВКОЕ ЖЕЛЕЗО, которое начинает вытеснять чугун;
- ✓ реализация проектов большепролетных сооружений в конце XVIII века привела к появлению нового конструкционного материала – ЖЕЛЕЗОБЕТОН;
- ✓ в 1830 году началось изготовление железнодорожных РЕЛЬСОВ;
- ✓ в 1834 году был изобретен проволочный ТРОС – новый конструктивный элемент, нашедший очень широкое применение в строительстве, благодаря своим замечательным свойствам – высокой прочности, малой массе, гибкости, долговечности;
- ✓ в 1854 году во Франции начинается изготовление ДВУТАВРОВ из ковкого железа;
- ✓ с изобретением в 1855 году Генри Бессемером конверторов и введением в 1864 году фирмой «Сименс» мартеновских печей начинается эра массового применения стали.

Одновременно строится станция «Кинг-кросс» в Лондоне, Восточный вокзал в Париже и целый ряд больших железнодорожных сооружений — стальных сводчатых покрытий перронов. В 1866 г. в Лондоне при строительстве станции «Панкрас» был установлен европейский рекорд — возведен 78-метровый пролет покрытия перрона. Одновременно с первыми шагами индустриальной революции технический прогресс привёл к глобальному расширению объёма знаний и навыков в зодчестве. Разделение старой строительной профессии и выделение инженера в самостоятельную профессиональную единицу. Это произошло и стало важнейшим признаком новой эпохи в строительном деле. Проволочные тросы в строительстве были впервые применены в качестве несущих конструкций висячих мостов, а затем уже получили распространение в большепролетных висячих покрытиях. Развитие современных вантовых конструкций началось в конце XIX века на строительстве Нижегородской выставки 1896 года.

Владимир Григорьевич Шухов построил восемь павильонов. первое в мире перекрытие в виде сетчатых оболочек; первое в мире перекрытие в виде стальной мембраны; первую в мире гиперболоидную башню. Русский инженер впервые применил пространственноработавшую металлическую конструкцию, где работа жестких элементов на изгиб была заменена работой гибких вант на растяжение. Комбинация тонкостенной оболочки мембраны и висячей сетки в покрытии

круглого в плане павильона Инженерно-строительного отдела XVI Всероссийской художественно-промышленной выставки в Нижнем Новгороде. Павильон круглой формы имел диаметр наружного кольца 68 м, павильон овальной формы был выполнен размером 98X51 м.

Двутавровая балка — основной профиль современного строительства из стали и в то же время первый строго нормированный строительный элемент. Является развитием формы железнодорожного рельса, который можно считать символом индустриального века. Совершенствование строительных технологий и ж/б конструкций в XX веке привело к появлению тонкостенных пространственных конструкций. Во второй половине прошлого века начали широко применяться висячие покрытия, пневматические и стержневые системы. В 1950 г. архитектор Новицкий впервые разработал покрытие в виде ортогональной вантовой сети и в 1952 г. по его проекту в США в г. Рэлей (штат Северная Каролина) (был перекрыт спортивный зал размером в плане 97X92 м. Конструкция покрытия состоит из двух наклонных железобетонных арок параболического очертания, между которыми натянуты продольные и поперечные стальные канаты. Наибольшая собственная масса покрытия (около 30 кг на 1 м), низкая стоимость сооружения и выразительность седлообразной формы поверхности привлекли внимание многих стран.

Такая форма покрытия нашла широкое применение в общественных сооружениях, в том числе и в СССР. В 1968 г. на Всемирной выставке в Брюсселе по проекту архитектора Стоуна павильон США был перекрыт двухпоясной радиальной вантовой системой. В плане павильон имел круглое очертание диаметром 104 м. Гиперболический параболоид.

Это поверхность, которая в сечении имеет параболы и гиперболу. Развитие большепролетных конструктивных систем всегда направлено на повышение качества строительства объектов. Конструкции большепролетных покрытий нацелены на максимальное использование несущих качеств материала и за счет этого получение легких и экономичных покрытий. Эти факторы, особенно важны сегодня, когда уменьшение массы конструкций и сооружений в целом становится определяющими в современном строительстве. Таким образом, характерным признаком современных городов становятся большепролетные объекты: здания культурно-просветительского назначения, спортивные комплексы, промышленные здания, сооружения транспортной инфраструктуры, торговые, складские помещения – сегодня именно та область применения, где функциональные и эстетические свойства большепролетных конструкций проявляются особенно ярко и фактически формирует облик города.

3. Конструкции покрытий большепролетных помещений и выбор материала для конструкций покрытия.

При проектировании и строительстве зданий с зальными помещениями возникает комплекс сложных архитектурных и инженерных задач. Для создания комфортных условий в зале, обеспечения требований технологии, акустики, изоляции его от других помещений и окружающей среды определяющее значение приобретает конструкция покрытия зала.

Зал – основное композиционное ядро большинства общественных зданий. Наиболее часто встречающаяся конфигурация плана – прямоугольник, круг, квадрат, эллипсовидные и подковообразные планы, реже трапециевидные. Пространство, освобожденное от опор, перекрытое большепролетной конструкцией, придает зданию эмоциональную и пластическую выразительность. Уменьшение массы конструкций и сооружений является одной из основных тенденций в строительстве. Уменьшение массы означает уменьшение объема материала, его добычи, переработки, транспортировки и монтажа. Поэтому вполне естественен интерес, который возникает у строителей и архитекторов к новым формам конструкций, что дает особенно большой эффект в покрытиях. Большепролетные конструкции покрытий можно разделить по их статической работе на две основных группы систем большепролетных покрытий:

- плоскостные (балки, фермы, рамы, арки);
- пространственные (оболочки, складки, висячие системы, перекрестно-стержневые системы и др.).

Балочные, рамные и арочные, плоскостные системы большепролетных покрытий проектируются обычно без учета совместной работы всех несущих элементов, так как отдельные плоские диски соединяются друг с другом сравнительно слабыми связями, не способными существенно распределить нагрузки. Это обстоятельство, естественно приводит к увеличению массы

конструкций. Для перераспределения нагрузок и снижения массы пространственных конструкций необходимы связи.

По материалу, применяемому для изготовления большепролетных конструкций, их разделяют на деревянные, металлические и железобетонные. Древесина имеет хорошие несущие свойства и малую объемную массу.

Металлические конструкции, главным образом стальные, применяются широко. Их достоинства: высокая прочность, относительно небольшая масса. Недостатком стальных конструкций является подверженность коррозии и низкая пожарная стойкость (потеря несущей способности при высоких температурах).

Поэтому при выборе материала для большепролетных конструкций необходимо отдавать предпочтение тому материалу, который в конкретных условиях строительства наилучшим образом отвечает поставленной задаче.

4. Плоскостные большепролетные конструкции покрытий. Балки. Фермы. Рамы. Арки.

Плоскостные большепролетные конструкции покрытий. Настилы, балки, фермы, рамы, арки. Работа этих конструкций основана на использовании внутренних физико-механических свойств материала и передаче усилий в теле конструкции непосредственно на опоры. В строительстве плоскостной тип покрытий хорошо изучен и освоен в производстве. Многие из них пролетом до 36 м разработаны как сборные типовые конструкции. Идет постоянная работа по их усовершенствованию, снижению массы и материалоемкости. Низкие эстетические качества.

Балки из стальных профилей, железобетонными (сборными и монолитными), деревянными (на клею или на гвоздях). Стальные балки таврового или коробчатого требуют большого расхода металла, имеют большой прогиб, который обычно компенсируется строительным подъемом ($1/40 - 1/50$ от пролета).

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

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

Деревянные балки подразделяются на гвоздевые и клееные длиной до 30 – 20 м. Гвоздевые балки имеют сшитую на гвоздях стену из двух слоев досок, наклоненных в разные стороны под углом 45° . Верхний и нижний пояса образуют за счет нашитых с обеих сторон вертикальных стенок балки продольных и поперечных брусев. Высота гвоздевых балок $1/6 \dots 1/8$ от пролета балки. Вместо дощатой стенки можно применять стенку из многослойной фанеры.

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

Фермы, как и балки, могут изготавливаться из металла, железобетона и дерева.

Стальные фермы в отличие от металлических балок за счет решетчатой конструкции требуют меньше металла. При подвесном потолке создается проходной чердак, обеспечивающий пропуск инженерных коммуникаций или свободный проход по чердаку. Фермы выполняют, как правило, из стальных профилей, а пространственные трехгранные фермы – из стальных труб. Фермы могут иметь различное очертание как верхнего, так и нижнего пояса. Наиболее распространены фермы треугольные и полигональные, а также горизонтальные с параллельными поясами. Железобетонные фермы изготавливаются: цельными – длиной до 30 м; составными – с предварительным напряжением арматуры, при длине более 30 м. Отношение высоты фермы к пролету $1/6 \dots 1/9$. Нижний пояс

выполняется обычно горизонтальным, верхний пояс может иметь горизонтальное, треугольное, сегментное или полигональное очертания. Наибольшее распространение получили железобетонные полигональные (двухскатные) фермы. Максимальная длина запроектированных железобетонных ферм составляет около 100 м при шаге 12 м.

Недостатком железобетонных ферм является большая конструктивная высота. Для уменьшения собственной массы ферм необходимо применять высокопрочные бетоны и внедрять легкие плиты покрытия из эффективных материалов.

Деревянные фермы – могут быть представлены в виде бревенчатых или брусчатых висячих стропил. Деревянные фермы применяют для пролетов более 18 м и при условии выполнения профилактических мероприятий по пожарной безопасности. Верхний (сжатый) пояс и раскосы деревянных ферм изготавливают из брусьев квадратного или прямоугольного сечения со стороной, равной $1/50 \dots 1/80$ от пролета, нижний (растянутый) пояс и подвески выполняют как из брусьев, так и из стальных тяжей с винтовыми нарезками на концах для натяжения их с помощью гаек с подкладными шайбами. Устойчивость деревянных ферм обеспечивают деревянные раскосы и связи, установленные по краям и в середине фермы перпендикулярно их плоскости, а также кровельные настилы, образующие жесткий диск покрытия. В практике отечественного строительства применяют фермы пролетом 15, 18, 21 и 24 м, верхний пояс которых выполняется из неразрезного пакета досок шириной 170 мм на клею ФР-12. Раскосы выполняются из брусков такой же ширины, нижний пояс из прокатных уголков, а подвески – из круглой стали.

Металлодеревянные фермы устанавливаются через 3 и 6 м и могут быть использованы для кровельных покрытий в двух вариантах:

- а) с теплым эксплуатируемым подвесным потолком и холодными кровельными панелями;
- б) без подвесного потолка и теплыми кровельными панелями.

Рамы являются плоскостными распорными конструкциями. В отличие от безраспорной балочно-стоечной конструкции, ригель и стойка в рамной конструкции имеют жесткое соединение, которое является причиной появления в стойке изгибающих моментов от воздействия нагрузок на ригель рамы.

Рамные конструкции выполняют с жесткой заделкой опор в фундамент, если отсутствует опасность появления неравномерных осадок основания. Особая чувствительность рамных и арочных конструкций к неравномерным осадкам приводит к необходимости устройства шарнирных рам (двухшарнирных и трехшарнирных).

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

Металлические рамы могут выполняться как сплошного, так и решетчатого сечения. Решетчатое сечение характерно для рам с большими пролетами, так как оно более экономично благодаря небольшой собственной массе и способности одинаково хорошо воспринимать как сжимающие, так и растягивающие усилия. Высота сечения ригелей решетчатых рам принимается в пределах $1/20 \dots 1/25$ пролета, а рам сплошного сечения $1/25 \dots 1/30$ пролета. Для уменьшения высоты сечения ригеля как сплошного, так и решетчатого металлических рам применяются разгружающие консоли, иногда снабженные специальными оттяжками. Металлические рамы активно применяются в строительстве.

Железобетонные рамы – могут быть бесшарнирными, двухшарнирными, реже трехшарнирными. При пролетах рам до 30 ... 40 м их выполняют сплошными, двутаврового сечения с ребрами жесткости, при больших пролетах – решетчатыми. Высота ригеля сплошного сечения составляет около $1/20 \dots 1/25$ пролета рамы, решетчатого сечения $1/12 \dots 1/15$ пролета. Рамы могут быть однопролетными и многопролетными, монолитными и сборными. При сборном решении соединение отдельных элементов рамы целесообразно выполнить в местах минимальных изгибающих моментов.

Деревянные рамы подобно деревянным балкам выполняют из гвоздевых или клееных элементов для пролетов до 24 м. Их выгодно делать трехшарнирными для облегчения монтажа. Высота ригеля из гвоздевых рам принимается около $1/12$ пролета рамы, у клееных рам – $1/15$ пролета.

Арки, как и рамы, являются плоскостными распорными конструкциями. Они еще более чувствительны к неравномерным осадкам, чем рамы и выполняются как бесшарнирными, так и двухшарнирными и трехшарнирными. Устойчивость покрытия обеспечивается жесткими элементами ограждающей части покрытия. Для пролетов 24 ... 36 м возможно применение трехшарнирных арок из двух сегментных ферм. Во избежание провисания затяжки устанавливают подвески.

Металлические арки выполняются сплошного и решетчатого сечения. Высота ригеля сплошного сечения арок применяется в пределах $1/50$... $1/80$, решетчатого $1/30$... $1/60$ пролета. Отношение стрелы подъема к пролету у всех арок находится в пределах $1/2$... $1/4$ при параболическом очертании кривой и $1/4$... $1/8$ при круговой кривой. На листе 8, а, листе 9, рис. 1, листе 10, а, б, в, представлены примеры из практики строительства.

Железобетонные арки, как и металлические, могут иметь сплошное и решетчатое сечение ригеля. Конструктивная высота сечения ригеля сплошных арок составляет $1/30$... $1/40$ пролета, решетчатых арок $1/25$... $1/30$ пролета.

Сборные арки больших пролетов выполняются составными, из двух полуарок, бетонируемых на листе в горизонтальном положении, а затем поднимаемых в проектное положение.

Деревянные арки выполняются из гвоздевых и клееных элементов. Отношение стрелы подъема к пролету у гвоздевых арок составляет $1/15$... $1/20$, у клееных – $1/20$... $1/25$.

5. Пространственные большепролетные конструкции покрытий. Складки. Своды. Оболочки. Купола. Перекрестно-ребристые и перекрестно-стержневые покрытия.

Большепролетные конструктивные системы разных эпох объединяет ряд существенных признаков, что дает возможность рассматривать их как технический прогресс в строительстве.

Объединяющим исторически сложившихся и современных криволинейных конструкций является поиск целесообразной формы, стремление к максимальному снижению их веса, поиск оптимальных условий распределения нагрузок, что приводит к открытию новых материалов и потенциальных возможностей.

Пространственные большепролетные конструкции покрытия – это плоские складчатые покрытия, своды, оболочки, купола, перекрестно-ребристые покрытия, стержневые конструкции, пневматические и тентовые конструкции.

Плоские складчатые покрытия, оболочки, перекрестно-ребристые покрытия и стержневые конструкции выполняются из жестких материалов (железобетон, металлические профили, дерево и др.) За счет совместной работы конструкций пространственные жесткие покрытия имеют небольшую массу, что снижает расходы как на устройство покрытия, так и на устройство опор и фундаментов.

Висячие (вантовые), пневматические и тентовые покрытия выполняются из нежестких материалов (металлические тросы, металлические листовые мембраны, мембраны из синтетических пленок и тканей). Они в значительно большей степени, чем пространственные жесткие конструкции, обеспечивают снижение объемной массы конструкций, позволяют быстро возводить сооружения.

Возведение пространственных конструкций требует более сложной организации строительного производства и высокого качества всех строительных работ.

Покрытие как сложное подсистемное образование, находится в структуре сооружения в тесной связи со всеми его другими элементами, с внешними и внутренними воздействиями среды, с экономическими, техническими, художественными и эстетически-стилевыми условиями его формирования.

Складки. Складкой называют пространственное покрытие, образованное плоскими взаимно пересекающимися элементами. Складки состоят из ряда повторяющихся в определенном порядке элементов, опирающихся по краям и в пролете на диафрагмы жесткости.

Складки бывают пилообразные, трапециевидные, из однотипных треугольных плоскостей, шатровые (четырёхугольные и многогранные) и другие.

Складчатые конструкции, применяемые в цилиндрических оболочках и куполах, рассматриваются в соответствующих разделах.

Складки могут быть выпущены за пределы крайних опор, образуя консольные свесы. Толщину плоского элемента складки принимают около $1/200$ пролета, высоту элемента не менее $1/10$, а ширину грани – не менее $1/5$ пролета. Складками обычно покрывают пролеты до 50 – 60 м, а шатрами до 24 м. Складчатые конструкции имеют целый ряд положительных качеств:

- простота формы и соответственно простота их изготовления;
- большие возможности заводского сборного изготовления;
- экономия высоты помещения и др.

Своды. Наиболее древняя и широко распространенная система криволинейного покрытия – сводчатое покрытие. Цилиндрический и сомкнутый своды – простейшие формы свода.

Крестовый свод образуется вырезкой из пересечения двух цилиндрических сводов.

Широко применялись такие разновидности сводов, как парусный, свод-купол, балдахин.

Оболочки. Тонкостенные оболочки являются одним из видов пространственных конструкций и используются в строительстве зданий и сооружений с помещениями больших площадей (ангаров, 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 большую сопротивляемость внешним силам, чем та же пластинка плоской формы.

Разработанные методы монтажа позволяют возводить оболочки и купола с помощью инвентарных опорных башен или вообще без вспомогательных лесов, что существенно сокращает сроки возведения покрытий и удешевляет монтажные работы.

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.

В обычных несущих системах сопротивление возникающим усилиям сосредотачивается непрерывно по всей их криволинейной поверхности, что свойственно пространственным несущим системам.

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 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 превосходят 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.

Оболочки в металле могут выполняться цельнометаллическими, где оболочка выполняет одновременно функции несущей и ограждающей конструкции в один, два и более слоев. Однослойные металлические оболочки выполняются из стального или алюминиевого листа. Для увеличения жесткости оболочек вводятся поперечные ребра. При частом расположении поперечных ребер, связанных между собой по верхнему и нижнему поясу, можно получить двухслойную оболочку.

Оболочки с применением металла и дерева бывают одинарной и двойной кривизны.

К оболочкам одинарной кривизны относятся оболочки с цилиндрической или конической поверхностью.

Цилиндрические оболочки имеют круговое, эллиптическое или параболическое очертание и опираются на торцевые диафрагмы жесткости, которые могут быть выполнены в виде стен, ферм, арок или рам. В зависимости от длины оболочек их делят на короткие, у которых пролет по продольной оси не более чем полторы длины волны (пролет в поперечном направлении), и на длинные, у которых пролет по продольной оси более, чем полторы волны.

По продольным краям длинных цилиндрических оболочек предусматриваются бортовые элементы (ребра жесткости), в которых размещается продольная арматура, позволяющая работать оболочке вдоль продольного пролета подобно балке. Кроме того, бортовые элементы воспринимают распор от работы оболочек в поперечном направлении и поэтому должны обладать достаточной жесткостью и в горизонтальном направлении.

Длина волны длинной цилиндрической оболочки обычно не превышает 12 м. Отношение стрелы подъема к длине волны принимается не менее $1/7$ пролета, а отношение стрелы подъема к длине пролета – не менее $1/10$.

Сборные длинные цилиндрические оболочки членятся обычно на цилиндрические секции, бортовые элементы и диафрагму жесткости, арматура которых в процессе монтажа сваривается между собой и замоноличивается.

Особенно выгодно, в смысле конструктивной работы, устройство последовательного ряда плоских цилиндрических оболочек, так как в этом случае изгибающие усилия, действующие в горизонтальном направлении, погашаются соседними оболочками (кроме крайних).

Применение длинных цилиндрических оболочек практически ограничено пролетами до 50 м, так как за этим пределом высота бортовых элементов (рандбалок) получается чрезмерно большой. Подобные оболочки часто используются в промышленном строительстве, но находят применение в общественных зданиях.

Разработаны длинные цилиндрические оболочки пролетами 18×24 м, шириной 3 м. Они изготавливаются сразу на пролет вместе с утеплителем – древесноволокнистой плитой. Сверху в заводских условиях на готовый элемент наносится слой гидроизоляции.

Длинные цилиндрические оболочки выполняются из железобетона, армоцемента, стали и алюминиевых сплавов.

Короткие цилиндрические оболочки по сравнению с длинными оболочками имеют более значительную величину волны и стрелу подъема. Кривизна коротких цилиндрических оболочек соответствует направлению наибольшего пролета перекрываемого помещения. Эти оболочки работают как своды.

Форма кривой может быть представлена дугой круга или параболой. В связи с опасностью выпучивания в коротких оболочках в большинстве случаев вводятся поперечные ребра жесткости. Кроме бортовых элементов такие оболочки должны иметь затяжки для восприятия горизонтальных поперечных сил.

Широко известны короткие цилиндрические оболочки для зданий с сеткой колонн 24×12 м и 18×12 м. Они состоят из ферм-диафрагм, ребристых панелей 3×12 м и бортовых элементов. Конструкции таких пролетов признаны типовыми. Конические оболочки обычно используются для покрытий трапециевидных в плане зданий или помещений. Конструктивные особенности этих оболочек такие же как и длинных цилиндрических.

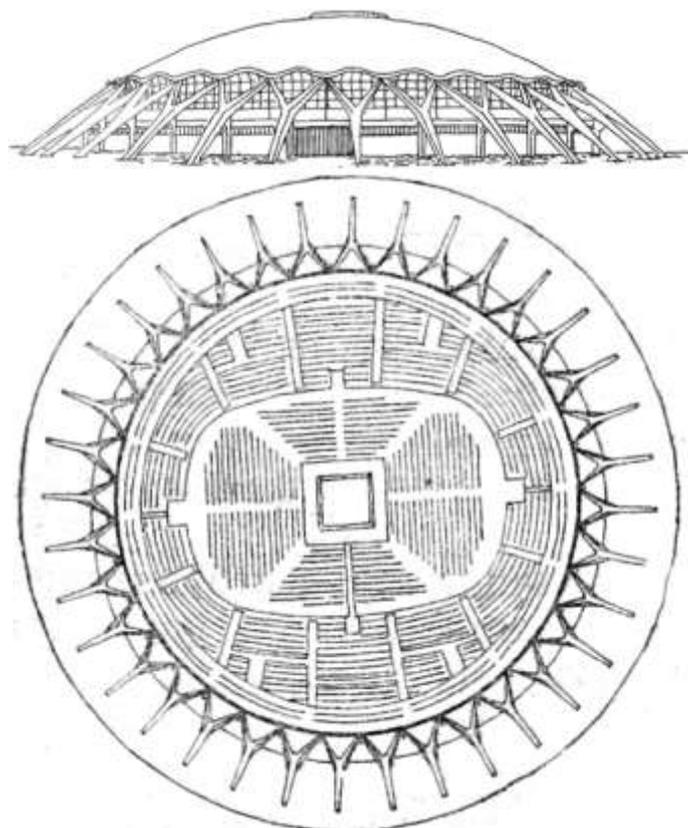
В волнообразных и складчатых оболочках с большими пролетами возникают значительные изгибающие моменты, вызываемые временными нагрузками от ветра, снега, изменений температуры и т.д.

Необходимое усиление таких оболочек достигалось устройством ребер. Снижение усилий было достигнуто переходом к волнообразным и складчатым профилям самой оболочки. Это дало возможность увеличить жесткость оболочек и снизить расход материала.

Волнистая оболочка, когда для нее найдены масштаб, кривизна, форма, исходя из требований архитектурной эстетики, может быть достаточно выразительной. Этот тип конструкций разработан для пролетов более 100 м, которые были применены для покрытий самых различных объектов.

Переход от оболочек одинарной кривизны к оболочкам двоякой кривизны знаменует собой новый этап в развитии оболочек, так как действие изгибающих усилий в них сводится к минимуму.

К их недостаткам можно отнести: завышенный объем перекрываемого здания, большую поверхность кровли, не всегда благоприятные акустические характеристики. Та-кие оболочки могут выполняться в монолитном и сборно-монолитном варианте железобетона. Пролеты этих зданий варьируются в пределах 24 ... 30 м. Устойчивость оболочки обеспечивается системой предварительно-напряженных балок жесткости с сеткой 12×12 м. Контур оболочки опирается на преднапряженный пояс.



Дворец спорта в Риме
арх. П.Нерви (1958-1960)

Купола. Купол представляет собой поверхность вращения. Усилия в нем действуют в меридиональном и широтном направлении. По меридиану возникают сжимающие напряжения. По широтам, начиная от вершины, возникают, также сжимающие усилия, переходящие постепенно в растягивающие, которые достигают своего максимума у нижнего края купола. Купольные оболочки могут опираться на опорное кольцо, работающее на растяжение, на колонны – через систему диафрагм или ребер жесткости, если оболочка имеет в плане квадратную или многогранную форму.

Купол возник в странах Востока и имел, прежде всего, утилитарное назначение. При отсутствии дерева покрытием для жилищ служили глиняные и кирпичные купола. Купола бывают сферические и многогранные, ребристые, гладкие, гофрированные, волнистые.

Начиная со средних веков, дерево в куполостроении применяется в качестве конструкционного материала.

Современная техника склейки древесины прочными водостойкими синтетическими клеями и большой опыт производства клееной древесины, и ее применение в строительстве, позволили ввести древесину как новый высококачественный материал в большепролетные сооружения. Конструкции из древесины прочны, долговечны, огнестойки и экономичны.

Складчатые купола монтируются из армоцементных пространственных скорлуп, расположенных в один или два яруса, или их выполняют монолитными. Волнообразные купола

применяют при пролетах более 50 м. Волнообразную форму поверхности купола придают для обеспечения большей жесткости и устойчивости.

Оболочки с поверхностью переноса применяют при покрытии прямоугольных или многоугольных в плане помещений. Опираются такие оболочки на диафрагмы по всем сторонам многоугольника. Поверхность оболочки переноса образуется, при поступательном движении одной кривой по другой при условии, что обе кривые выгнуты кверху и находятся в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

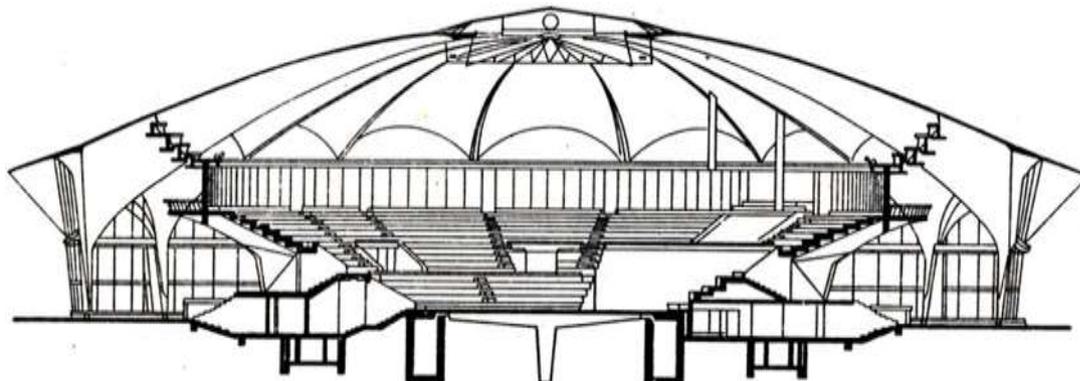
Оболочки переноса работают в поперечном и продольном направлении подобно сводам. Мощные затяжки, подвешенные под продольными ребрами, воспринимают распор в направлении пролета. В поперечном направлении распор от оболочки в крайних пролетах воспринимают диафрагмы жесткости и бортовые элементы, а в средних пролетах распор погашается соседними оболочками. Поперечные сечения оболочек переноса по всей длине свода, кроме опорных зон, чаще принимают круговыми.

В опорных зонах оболочка может заканчиваться коноидальными элементами, обеспечивающими переход от кругового поперечного сечения средней зоны к прямоугольному по линии опирания.

Сферические парусные оболочки образуются в том случае, если сферическая поверхность ограничивается вертикальными плоскостями, построенными на сторонах квадрата. Диафрагмы жесткости в этом случае одинаковы для всех четырех сторон.

Сборные ребристые сферические оболочки размером 36×36 м находят использование при строительстве многих промышленных объектов. В этом решении применяются плиты четырех типоразмеров: в средней части квадратные 3×3 м, а к периферии – оболочки ромбические, близкие к размеру квадрата. Эти плиты имеют диагональные рабочие ребра и небольшие утолщения по контуру. Концы арматуры диагональных ребер оголены. При монтаже их сваривают с помощью накладных стержней. В швы между плитами в зоне угловых стыков закладывают стержни с надетой на них спиральной арматурой. После этого швы замоноличивают.

Армоцементные конструкции применяются для построения пространственных, сборно-монолитных покрытий промышленных зданий средних и больших пролетов, в виде плит различной формы для покрытий и перекрытий, для подвесных потолков, в виде объемных элементов, стальных панелей для неотапливаемых зданий. Они используются также в гидротехнических сооружениях. Конструкции могут иметь безопалубочное изготовление и принимают любую форму, потому с помощью их возводятся сооружения сложных архитектурных форм больших пролетов. Купольное покрытие конструктивно не связано с амфитеатром. Сегменты воли купола в радиальном и поперечном направлении имеют форму параболы.



Государственный цирк в Бухаресте

Толщина железобетонных оболочек 70...120 мм. Купол опирается на 16 столбов, связанных полигональным железобетонным поясом на уровне верха опор.

По классификации К.В. Сахновского, железобетонные купола могут быть гладкими или ребристыми по форме поверхности, круглыми или многоугольными по форме плана. В зависимости от формы плана и формы поверхности вращения классифицирует купола известный специалист в области пространственных конструкций Г. Рюле (Германия).

6. Висячие (вантовые) конструкции зданий и сооружений. Висячие покрытия. Покрытия с жесткими вантами и мембраны. Конструктивные элементы и детали вантовых покрытий.

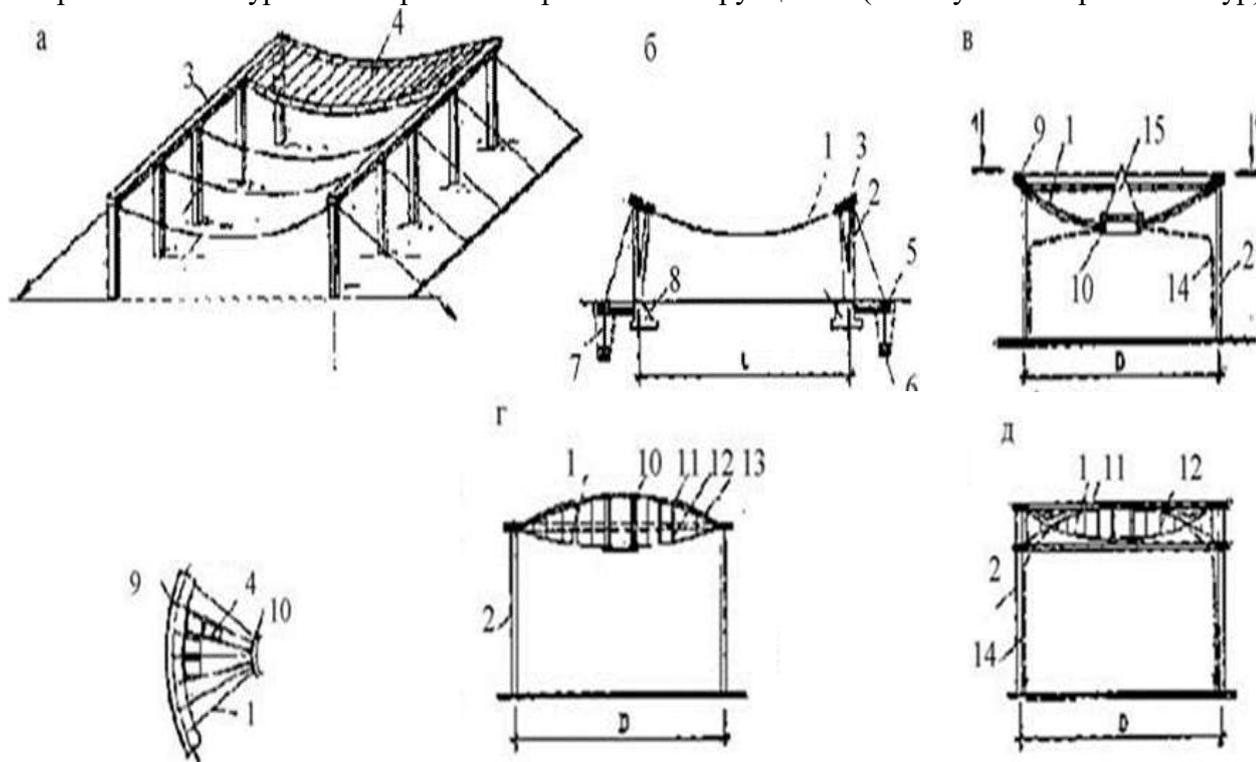
Вантовые висячие конструкции. В 1834 г. Был изобретен проволоочный трос – новый конструктивный элемент, нашедший очень широкое применение в строительстве, благодаря своим замечательным свойствам – высокой прочности, малой массе, гибкости, долговечности. В строительстве проволоочные тросы были впервые применены в качестве несущих конструкций висячих мостов, а затем уже получили распространение в большепролетных висячих покрытиях.

Основными несущими элементами висячих конструкций являются гибкие тросы, ванты, цепи или кабели. Они работают только на растяжении и несут подвешенные к ним ограждающие горизонтальные, а иногда и вертикальные конструкции. Их достоинством является то, что работа пролетного элемента на растяжение позволяет максимально использовать расчетное сопротивление высокопрочных сталей, перекрывая большие пролеты при относительно невысоком расходе материалов, а недостатком – повышенная деформативность и кинематическая податливость.

Стабилизация конструкции достигается:

- ✓ предварительным напряжением вант, осуществляемым монтажным пригрузом, домкратами, электротермическим методом и др.;
- ✓ применением конструктивных форм повышенной жесткости (предварительно напряженных двухпоясных систем, вантовых ферм и др.);
- ✓ использованием гибких пролетных элементов, обладающих наряду с осевой также и изгибной жесткостью;
- ✓ предварительным напряжением опорного контура.

Вантовые висячие металлические конструкции являются распорными системами. Распор висячего элемента может передаваться непосредственно в фундаменты, разомкнутый опорный контур или восприниматься в уровне покрытия опорными конструкциями (замкнутый опорный контур).



Висячие системы

а – схема плоскостной системы; б – пример конструкции плоскостной системы; в – пространственная однопоясная; г – пространственная двух-поясная; д – пространственная двухпоясная с пересекающимися тросами.

1 – рабочий трос; 2 – опорный пилон; 3 – опорная балка; 4 – железобетонные плиты; 5 – тарельчатый анкер; 6 – анкерная балка; 7 – оттяжка; 8 – фундамент; 9 – опорный кольцевой контур; 10 – внутреннее опорное кольцо; 11 – стабилизирующий трос; 12 – распорка; 13 – легкое покрытие; 14 – внутренний водоотвод с покрытия; 15 – световой фонарь.

Висячие конструкции могут быть плоскими и пространственными. В плоскостных системах помимо одиночных параллельных несущих тросов используют опорные пилоны, через которые перекинута тросы и специальные анкерные крепления тросов к фундаментам, воспринимающим

вертикальные и горизонтальные опорные реакции. В пространственных системах обязательным конструктивным элементом помимо рабочих тросов является жесткий опорный контур (железобетонный или стальной), воспринимающий распор от системы тросов, которые образуют криволинейную поверхность для укладки покрытия. Вертикальные реакции покрытия передаются на стойки, поддерживающие опорный контур, или другие вертикальные конструкции.

Плоскостные. Однопоясные конструкции, состоящие из параллельно расположенных вант (вантовых ферм), верхние концы которых закреплены к оголовкам вертикальных пилонов, откуда распор с помощью наклонных оттяжек передается на фундаменты. Применяются в висячих мостах и в висячих пролетах плоскостных каркасов зданий.

Вантово-балочные системы, состоящие из вант, к которым по длине подвешены балки жесткости. В эту систему включаются также боковые распорки, передающие горизонтальную составляющую распора на балку жесткости, при этом вертикальная составляющая передается на фундаменты вертикальными оттяжками. К вантово-балочным относятся системы, состоящие из консольных балок (ферм), подвешенных на вантах к анкерным элементам. Вантово-балочные висячие металлические конструкции применяются в плоскостных пролетных каркасах зданий и сооружений, висячих мостах, а последний тип – в покрытиях ангаров самолетов. Двухпоясные предварительно напряженные, состоящие из несущих и стабилизирующих вант, в которых стабилизирующий выпуклый вант может располагаться в трех вариантах:

- ✓ над вогнутым несущим;
- ✓ под вогнутым несущим;
- ✓ пересекаться с ним;

Переходной от плоскостной к пространственной конструктивной формой являются однопоясные вантовые висячие металлические конструкции на круглом или овальном плане, состоящие из радиальной системы вант, закрепленных концами в наружном сжато-изогнутом и внутренних – растянуто-изогнутых опорных кольцах с образованием вогнутой или шатровой формы покрытий зданий и сооружений. При приложении асимметричной вертикальной нагрузки и круговом плане покрытия оба опорных кольца работают безмоментно (внутреннее кольцо только растянуто, а наружное только сжато), что наиболее экономично по расходу материала. Ванты, входящие в радиальную сетку, могут быть однопоясными или двухпоясными и располагаться в соответствии с тремя рассмотренными выше вариантами.

Геометрическая форма радиально вантовой системы зависит от уровня расположения внутреннего опорного кольца:

- ✓ вогнутая (чашеобразная) форма – при размещении внутреннего опорного кольца ниже уровня наружного;
- ✓ шатровая (двойной кривизны) – при размещении внутреннего кольца на центральной опоре выше наружного и провисающих (вогнутых) вант;
- ✓ коническая – в том же случае, но при натянутых вантах.

Пространственные. Представляют собой гибкие сети, образованные пересечением вант, концы которых закреплены в опорном контуре. В зависимости от схемы, они делятся на:

- ✓ ортогональные;
- ✓ радиально-кольцевые;
- ✓ косоугольные.

Ортогональная вантовая сеть состоит из вант, пересекающихся под прямым углом, для придания требуемой жесткости ей обычно придается предварительное напряжение. Она применяется при круговом, овальном, прямоугольном, квадратном и др. планах.

Наиболее эффективная – гиперболическая парабола, ортогональная сетка которого состоит из несущих вогнутых и напрягающих выпуклых вант (тех и других, очерченных по квадратной параболе) и расположенных на одинаковых расстояниях друг от друга. При применении предварительно напряженных ортогональных сеток на круговом плане создается растянутая поверхность положительной гауссовой кривизны. При равномерно распределенной нагрузке наружное опорное кольцо безмоментно, что экономично.

В прямоугольном (квадратном) контуре для достижения его безизгибности используются криволинейные тросы-подборы, которые воспринимают распор ортогональной вантовой сети и передают его в углы контурной рамы.

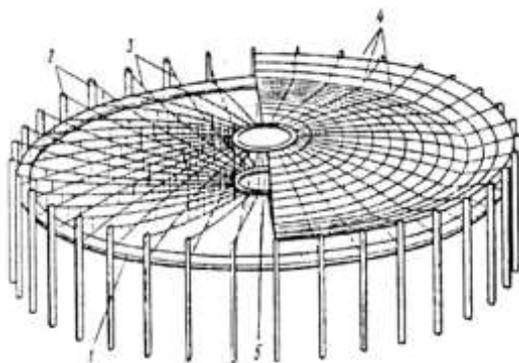
Радиально-кольцевая вантовая сеть состоит из радиальных (закрепленных по концам во внутреннем и наружном кольцах) вант и работающих совместно с ними кольцевых элементов; их конструктивная форма аналогична радиальным вантовым системам. Косоугольная сеть образуется пересечением вант под углами, отличающимися от прямого. Расчетной схемой единичного гибкого ванта является работающая на растяжение гибкая нить, под которой подразумевается стержень с исчезающей малой жесткостью.

Таким образом, под гибким подразумевается вант, изгибной жесткостью которого (как и изгибающими моментами) можно пренебречь ввиду их малости. Для расчета таких вант применяется теория гибких нитей. Следует учитывать, что при создании в гибких вантах предварительного напряжения они способны наряду с растяжением воспринимать сжатие.

Существуют так называемые «жесткие» ванты, у которых изгибная жесткость такова, что обусловленные ею напряжения от изгиба составляют более 5% от усилия растяжения. Эти ванты работают по схеме растянуто-изогнутого стержня, при которой максимальные напряжения в элементе определяются суммой растягивающих и изгибных напряжений от изгиба. Для расчета пространственных вантовых конструкций используется теория вантовых сетей.

Чаще всего для вант применяются стальные витые из высокопрочной проволоки канаты закрытого типа с пределом прочности 100-260 МПа, которые оцинковываются для повышения коррозионной стойкости. Расчетное сопротивление канатов принимается равным 60% от среднего разрывного усилия, определяемого отношением разрывного усилия к площади сечения всех проволок в канате. В зависимости от конструкции каната (одно – или многопрядный, диаметров каната и проволок) модуль упругости предварительно вытянутых стальных канатов колеблется в пределах от $1,3 \times 10^5$ МПа до $1,8 \times 10^5$ МПа. Модуль упругости канатов, не прошедших предварительной вытяжки, принимается равным 80% от величины модулей упругости предварительно вытянутых канатов. В процессе эксплуатации (в особенности в ее первые годы) при неизменной нагрузке в канатах возникают удлинения (ползучесть), обусловленные, как правило, конструкцией и геометрией вантовой системы. Величина деформационной ползучести оценивается около 0,04-0,06% от величины упругой деформации.

Целесообразно предусматривать устройства, позволяющие подтягивать канаты под нагрузкой. Для передачи на канат усилий растяжения на его концах устраиваются стальные анкеры, которые могут быть двух типов – стаканные или клиновые.



Принципиальная схема основного покрытия

1 – наружное железобетонное опорное контурное кольцо; 2 – железобетонные колонны каркаса; 3 – вантовые фермы; 4 – кровельные стальные панели; 5 – внутренние стальные опорные кольца.

Итак, висячие конструкции - это строительные конструкции, в которых основные элементы, несущие нагрузку (тросы, кабели, цепи, сетки, листовые мембраны и т.п.), испытывают только растягивающие усилия. Преимуществом таких конструкций являются большая жесткость и огнестойкость конструкции, меньшие эксплуатационные расходы по сравнению с другими оболочками. Недостатками является наличие распоров и большая деформативность под действием

местной нагрузки. Уменьшение деформативности висячих конструкций достигается введением стабилизирующих элементов – оттяжек, раскосов, балок, жесткости, дополнительных поясов. Висячие конструкции сравнительно просты в монтаже, надёжны в эксплуатации, отличаются архитектурной выразительностью. Возводятся без применения лесов, позволяя снизить стоимость строительства и сократить его сроки, что делает их перспективными, отвечающими растущей потребности в зданиях с большими пролётами.

Купол представляет собой поверхность вращения. Усилия в нем действуют в меридиональном и широтном направлении. По меридиану возникают сжимающие напряжения. По широтам, начиная от вершины, возникают, также сжимающие усилия, переходящие постепенно в растягивающие, которые достигают своего максимума у нижнего края купола. Купольные оболочки могут опираться на опорное кольцо, работающее на растяжение, на колонны – через систему диафрагм или ребер жесткости, если оболочка имеет в плане квадратную или многогранную форму.

Изобретения: лифт (Отис 1853), материалы (сталь и стекло), кондиционирование (1902), время строительства (технологии возведения), ветростойкость (проектирование ветрового потока), сейсмоустойчивость (свайные фундаменты), пожаробезопасность (огнеубежище).

6. Комбинированные системы большепролетных зданий.

Комбинированные системы. При проектировании большепролетных сооружений встречаются здания, в которых целесообразно применить комбинацию простого конструктивного элемента (например, балки, арки, плиты) с натянутым тросом. Некоторые плиты комбинированных конструкций известны давно.

Это шпренгельные конструкции в которых пояс-балка работает на сжатие, а металлический стержень или трос воспринимает растягивающие усилия. В более сложных конструкциях появилась возможность упростить конструктивную схему и за счет этого получить экономический эффект по сравнению с традиционными большепролетными конструкциями. Арочно-вантовая ферма была применена при возведении дворца спортивных игр "зенит" в Ленинграде. Здание в плане прямоугольное размерами 72 ч 126 м. Несущий каркас этого зала решен в виде десяти поперечных рам с шагом 12 м и двух торцевых фахверковых стен. Каждая из рам выполнялась в виде блока из двух наклонных v-образных колонн-подкосов, четырех колонно-стяжек и двух арочно-вантовых ферм. Ширина каждого блока 6 м. Железобетонные колонны-подкосы заземлены в подошве и шарнирно примыкают к арочно-вантовой ферме.

Колонны-оттяжки вверху и внизу закреплены шарнирно. Уравновешивание сил распора происходит, в основном, в самом покрытии. Этим данная система выгодно отличается от чисто вантовых конструкций, которые на прямоугольном плане требуют постановки оттяжек, контрфорсов или других специальных устройств.

Предварительное напряжение вант обеспечит значительное снижение моментов в арке, возникающих при некоторых видах нагрузок. Сечение стальной арки двутавровое высотой 900 мм. Ванты выполнены из канатов закрытого типа с заливными анкерами. Железобетонная плита, подкрепленная шпренгелями, применена для покрытия девяти секций с размерами в плане 12 ч 12 м универмага в Киеве. Верхний пояс каждой ячейки системы набирается из девяти плит размером 4 ч 4 м. Нижний пояс выполнен из перекрестных арматурных стержней.

Эти стержни шарнирно закреплены к диагональным ребрам угловых плит, что позволяет замкнуть усилия системы внутри нее, передавая на колонну лишь вертикальную нагрузку. Конструктивные элементы и детали вантового покрытия. Проволочные тросы (канаты). Основным конструктивным материалом вантовых покрытий – изготавливаются из стальной холоднотянутой проволоки диаметром 0,5 ... 6 мм, с пределом прочности до 220 кг/мм². Различают несколько типов тросов: спиральные тросы, состоящие из центральной проволоки, на которую спирально навиты последовательно в левом и правом направлении несколько рядов круглых проволок; многопрядевые тросы, состоящие из сердечника (пенькового каната или проволочной пряди), на который навиты односторонней или перекрестной круткой проволочные пряди (пряди могут иметь спиральную сбивку) в этом случае трос будет называться спирально-прядевым; закрытые или полужакрытые тросы, состоящие из сердечника (например, в виде спирального троса), вокруг которого навиты ряды

проволок фигурного сечения, обеспечивающие их плотное прилегание (при полузакрытом решении трос имеет один ряд навивки из круглых и фигурных проволок); тросы (пучки) из параллельных проволок, имеющие прямоугольное или многоугольное сечение и связанные между собой через определенные расстояния или заключенные в общую оболочку; плоские ленточные тросы, состоящие из ряда витых тросов (обычно четырех прядевых) с попеременной правой или левой круткой, связанных между собой одинарной или двойной прошивкой проволокой или тонкими проволочными прядями, требуют надежной защиты от коррозии. Возможны следующие способы антикоррозийной защиты тросов: оцинкование, лакокрасочные покрытия или смазки, покрытие пластмассовой оболочкой, покрытие оболочкой из листовой стали с нагнетанием в оболочку битума или цементного раствора, бетонирование.

Окончания тросов должны быть выполнены таким образом, чтобы обеспечивать прочность окончания не меньше прочности троса и передачу усилий от троса на другие элементы конструкции.

7. Трансформируемые и пневматические покрытия большепролетных зданий.

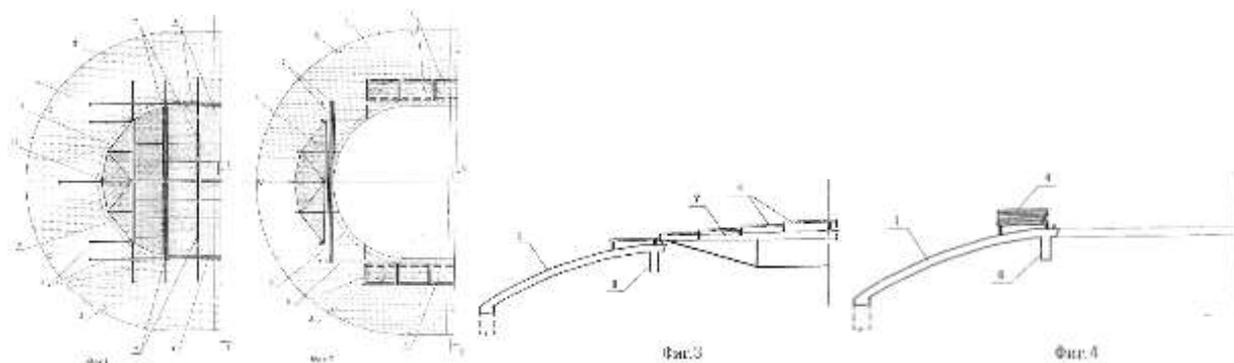
Трансформируемое покрытие большепролетного здания или сооружения, например, стадиона. Покрытие имеет неподвижную часть, располагаемую над зрительскими местами, и трансформируемую часть над игровым полем. Покрытие трансформируемой части состоит из несущих ферм и светопрозрачных плит покрытия. Сущность изобретения заключается в том, что с целью уменьшения строительной высоты сооружения фермы трансформируются дважды: сначала по высоте, когда шпренгель поднимается вверх и располагается внутри верхнего пояса коробчатого сечения, а затем ферма транспортируется на стационарную часть покрытия. Это позволяет в 2 - 3 раза уменьшить высоту трансформируемой части покрытия. При этом верхний пояс фермы используется в процессе трансформации как балка, воспринимающая собственный вес фермы. Для фиксации выдвигающегося вниз шпренгеля в рабочем состоянии используется вертикальное перемещение верхнего пояса фермы при действии на нее внешней нагрузки. 1 з.п.ф.-лы, 12 ил.

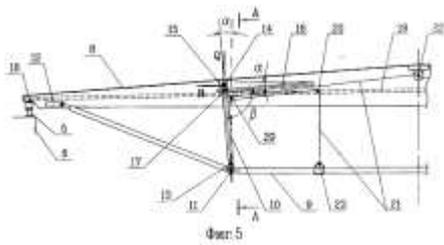
Изобретение относится к строительству и может быть использовано при строительстве большепролетных трансформируемых покрытий зданий и сооружений, например, стадионов. Наиболее близким аналогом изобретения является трансформируемое покрытие стадиона с прямоугольным раскрытием (патент США N 4682449 1987). Недостатком этого решения является то, что трансформируемые панели увеличивают высоту стационарной части на их полную собственную строительную высоту. Целью изобретения является существенное уменьшение строительной высоты трансформируемого покрытия. Достигается это тем, что в трансформируемом покрытии большепролетного здания или сооружения, например в новостройках Подольска, имеющем неподвижную стационарную часть и подвижную часть, надвигаемую при раскрытии на стационарную, подвижная часть состоит из трансформируемых по высоте ферм и панелей, перемещающихся со стационарной части на фермы, причем каждая трансформируемая ферма состоит из верхнего пояса коробчатого профиля с размещенными внутри него направляющими рейками, шпренгеля, имеющего в местах перегиба шарниры, и стоек, один конец каждой из которых шарнирно прикреплен к шпренгелю, а противоположный конец стержнем зафиксирован в упоре, при этом при трансформации фермы концы шпренгеля скользят вдоль прорезей верхнего пояса, а стойки посредством прикрепленных к ним роликов перемещаются по направляющим рейкам и поворачиваются вокруг шарнира, причем при занятии шпренгелем нижнего положения угол между стойкой и направляющей рейкой равен 90°, и между верхним концом стойки и упором образован зазор, который закрывается при приложении к покрытию внешней нагрузки. Для перемещения шпренгеля в рабочее положение под действием собственного веса величина наклона направляющей рейки к горизонту назначается большей или равной углу трения при движении ролика по направляющей рейке. Описание изобретения сделано применительно к варианту раскрытия в виде прямоугольника с закругленными короткими сторонами. Другие возможные раскрытия могут рассматриваться как частные случаи. На фиг. 1 изображен план трансформируемого покрытия сооружения в закрытом состоянии; на фиг. 2 - план покрытия в открытом состоянии; на фиг. 3 - разрез 1-1 на фиг. 1; на фиг. 4 - разрез 2-2 на фиг. 2; на фиг. 5 - ферма в раскрытом (рабочем) состоянии, когда шпренгельная система опущена вниз; на фиг. 6 - ферма в закрытом состоянии, когда шпренгельная система находится внутри верхнего пояса;

на фиг. 7 - разрез А-А на фиг. 5; на фиг. 8 - схема трансформации ферм покрытия. На фиг. 9а - рядовая панель покрытия в плане, на фиг. 9б - ее разрез Б-Б на фиг. 9а; на фиг. 10 - деталь "А" на фиг. 9б; на фиг. 11а, 11б, 11г - схема трансформации рядовых панелей покрытия; на фиг. 12 - аксонометрическая проекция торцевой панели и схема ее трансформации. Покрытие сооружения (фиг. 1, 2) состоит из стационарной части 1, опирающейся на расположенные по наружному периметру опорные конструкции 2, трансформируемых торцевых панелей 3 и рядовых панелей 4. Для перемещения трансформируемых частей покрытия имеются рельсовые направляющие 5, опирающиеся на внутренний опорный контур 6 стационарной части 1 покрытия. Рядовые панели 4 в закрытом состоянии покрытия опираются на фермы 7 (фиг. 3), а после трансформации располагаются на стационарной части 1 покрытия (фиг. 4). Ферма (фиг. 5, 6) состоит из верхнего пояса 8 (коробчатого профиля), шпренгеля 9 и стоек 10. В местах перегиба шпренгеля имеются шарниры 11, а его концы при трансформации скользят вдоль прорезей 12 в верхнем поясе 8. Стойка шпренгеля крепится к нему шарниром 13, а противоположным концом стержнем 14 фиксируется в упоре 15. Внутри коробчатого профиля верхнего пояса фермы имеются направляющие рейки 16, по которым перемещаются ролики 17, крепящиеся к стойке 10 (фиг. 7). Ферма имеет на своих концах ходовые тележки 18, которые перемещаются по рельсовым направляющим 5. Перемещение рядовых панелей 4 покрытия производится по направляющим 19, которые крепятся к верхнему поясу 8. Ферма имеет вращающиеся блоки 20, прикрепленные к верхнему поясу и к стойке (фиг. 5, 6), через которые проходит тяговый трос 21, приводимый в движение лебедкой 22. Неподвижный конец троса крепится к анкеру 23, установленному на шпренгеле 9. Механизм перемещения фермы в процессе трансформации (фиг. 8) состоит из лебедки 24 и анкерного шкива 25, которые закреплены на стационарной части покрытия. Лебедка и анкерный шкив соединены бесконечным (петлевым) тросом 26. Ходовая тележка 18 (фиг. 5) трансформируемой фермы 7 (фиг. 8) прикреплена к тросу зажимом 27 и может перемещаться по рельсовой направляющей 5. Рядовая панель покрытия (фиг. 9, 10) состоит из несущих ребер 28, балок 29, к которым крепится светопрозрачное ограждение 30. Плита имеет ходовые ролики 31 и шкивы 32, через которые пропускается тяговый трос 33 механизма трансформации (фиг. 10). Механизм трансформации рядовых панелей 4 (фиг. 11) включает лебедку 34, анкерный шкив 35 и бесконечный тяговый трос 36, который петлеобразно огибает шкивы 28 всех панелей. Лебедка и анкерный шкив закреплены на стационарной части 1 покрытия. Рядовые плиты 4 при трансформации перемещаются со стационарной части 1 на фермы 7, на которых закреплены фиксаторы 37. Торцевая панель 3 (фиг. 2, 12) состоит из несущих ферм 38 и каркаса 39, к которому крепится светопрозрачное ограждение 26. Панель имеет ходовые тележки 40, которые перемещаются по рельсовым направляющим 5, и лебедку 41 с тяговым тросом 42. Таким образом, трансформируемая часть покрытия состоит из трех самостоятельных (отдельных) конструкций: ферм 7, рядовых панелей 4 и торцевых панелей 3. В раскрытом состоянии эти конструкции группируются на стационарной части 1 покрытия. Процесс закрытия начинается с выдвигания ферм 7 (фиг. 8). При включении лебедки 24 ферма 7, показанная на фиг. 8 пунктиром, перемещается в направлении стрелки и занимает рабочее положение. В этом положении шпренгельная система фермы находится в закрытом состоянии, показанном на фиг. 6. Аналогичным образом производится перемещение в рабочее положение всех остальных ферм и торцевых панелей 3. Затем производится выдвигание или трансформация шпренгелей ферм (фиг. 5, 6, 7) в следующем порядке. Вращением лебедки 22 в направлении стрелки на фиг. 6 тяговый трос 21 разматывается, и шпренгельная система под действием собственного веса опускается вниз. При этом ролик 17 стойки 10 перемещается по направляющей рейке 16, и стойка поворачивается вокруг шарнира 13. Величина угла наклона направляющей рейки 16 к горизонту назначается большей или равной углу трения при движении ролика 17 по направляющей рейке 16. При этом условии будет происходить перемещение шпренгеля 9 в рабочее положение под действием собственного веса. Когда шпренгель 9 займет нижнее положение, стойка 10 получит наклон к вертикали, а угол между стойкой 10 и направляющей рейкой 16 станет прямым. В этом положении между верхним концом стойки 10 и упором 15 имеется зазор (фиг. 7). При загрузке покрытия внешней нагрузкой Q (собственный вес панелей покрытия, снеговая нагрузка и т.п.) верхний пояс 8 фермы прогибается, зазор закрывается, и шпренгельная система включается в работу. При этом на верхний конец стойки 10 действует

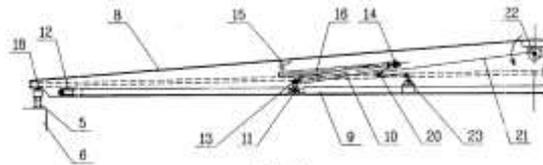
составляющая $N = Q \cdot \sin \alpha$, приложенная к стержню 14. Величина этого усилия, зависящая от угла, определяет надежность фиксации шпренгельной системы в процессе эксплуатации покрытия. Обратная трансформация шпренгельной системы производится при отсутствии внешней нагрузки Q . Направление вращения лебедки переключается на обратное, трос 21 поворачивает стойку 10 по часовой стрелке относительно шарнира 13, стержень 14 выходит из упора 15, и шпренгель 9 начинает подниматься. Свободный выход в этот момент стержня 14 из упора 15 обеспечивается имеющимся между ними зазором. После перемещения ферм и торцевых элементов в их рабочие положения и выдвигания вниз шпренгельных систем ферм производится надвиг рядовых панелей 4 на фермы. На фиг. 11а показано стартовое состояние, когда рядовые панели сосредоточены на стационарной части 1 покрытия. При включении лебедки в направлении стрелки в тяговом тросе 36 возникает усилие, которое по мере прохождения троса через анкерный шкив 35 и шкивы 28 уменьшается вследствие трения в шкивах. Поэтому максимальное тяговое усилие будет действовать на нижнюю плиту, и весь пакет плит будет перемещаться на ферму 7 (фиг. 11б) до упора 37, установленного на ферме. Перемещение панелей 4 вдоль фермы происходит по направляющим 19 (фиг. 7). После перемещения первой панели до упора 37 максимальное тяговое усилие окажется приложенным к следующей по высоте панели, которая в свою очередь начнет перемещаться по ферме до следующего упора. Таким образом производится поочередное перемещение рядовых панелей на фермы покрытия (фиг. 11в, 11г). Обратная трансформация элементов на стационарную часть покрытия производится путем перемены направления вращения соответствующих лебедок.

Формула изобретения. Трансформируемое покрытие большепролетного здания или сооружения, имеющее неподвижную стационарную часть и подвижную часть, надвигаемую при раскрытии на стационарную, отличающееся тем, что подвижная часть состоит из трансформируемых по высоте ферм и панелей, перемещающихся со стационарной части на фермы, причем каждая трансформируемая ферма состоит из верхнего пояса коробчатого профиля с размещенными внутри него направляющими рейками, шпренгеля, имеющего в местах перегиба шарниры, и стоек, один конец каждого из которых шарнирно прикреплен к шпренгелю, а противоположный конец стержнем зафиксирован в упоре, при этом при трансформации фермы концы шпренгеля скользят вдоль прорезей верхнего пояса, а стойки посредством прикрепленных к ним роликов перемещаются по направляющим рейкам и поворачиваются вокруг шарнира, причем при занятии шпренгелем нижнего положения угол между стойкой и направляющей рейкой равен 90° и между верхним концом стойки и упором образован зазор, который закрывается при приложении к покрытию внешней нагрузки. 2. Покрытие по п.1, отличающееся тем, что для перемещения шпренгеля в рабочее положение под действием собственного веса величина угла наклона направляющей рейки к горизонту назначается большей или равной углу трения при движении ролика по направляющей рейке.

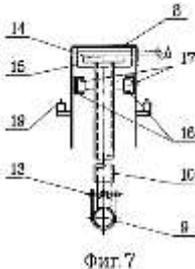




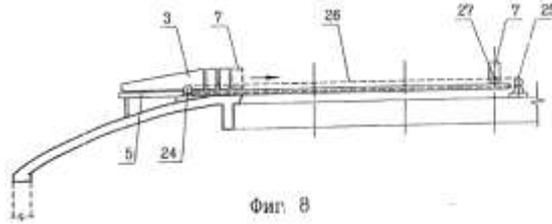
Фиг. 5



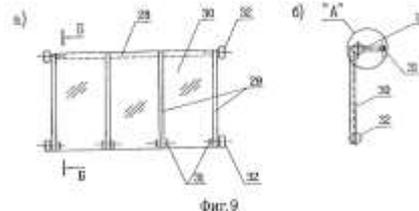
Фиг. 6



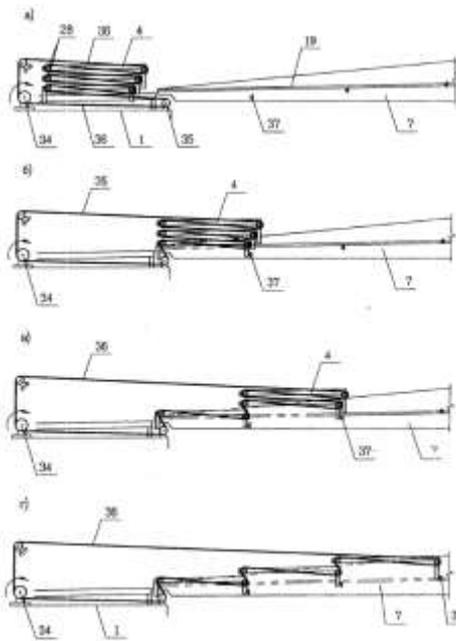
Фиг. 7



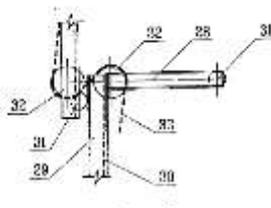
Фиг. 8



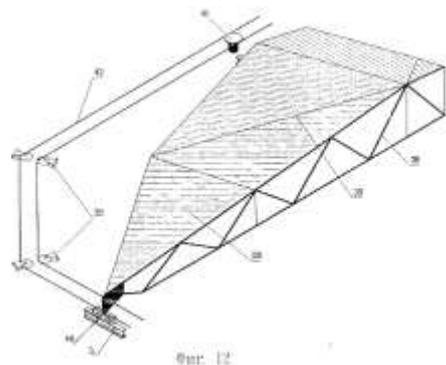
Фиг. 9



Фиг. 11



Фиг. 10



Фиг. 12

9. Высотное строительство. История возникновения и эволюция развития.

Высотное и супервысотное строительство стало одним из символов зодчества XX, а теперь и XXI века. К настоящему времени сотни, тысячи гигантских 50 -70 этажных и гораздо более высоких зданий построены и продолжают строиться на всех континентах. Основное функциональное назначение небоскребов (здания выше 100-120 м или выше нижнего уровня облаков) уже состоялось – теперь это многофункциональные здания для размещения управленческих, финансовых, торговых и других служб различных фирм и корпораций, а также дорогих гостиничных номеров, жилых апартаментов и пентхаусов. Несколько реже такие высотные объекты имеют чисто жилое, гостиничное или производственное назначение. Наиболее характерна следующая схема размещения различных функций в небоскребах: нижний ярус – соцкультбыт в интересах города; средний – офисы и конторы различных фирм и корпораций; верхний – гостиницы или жилые апартаменты, пентхаусы; на самом верху обычно размещаются службы теле- радиокomпаний, а также передающие антенны.

Объемно-планировочные решения всех высотных зданий должны обеспечивать: безопасность эвакуации людей через незадымляемые лестницы; быстрое и рациональное действие вертикального транспорта в виде скоростных лифтов; многократную трансформацию планировочных решений в процессе эксплуатации за счет гибкой планировки; устойчивость к прогрессивному обрушению конструкций обеспеченную специальным укреплением несущих конструкций и перекрытий.

Более чем столетний опыт возведения небоскребов, а также исследований функционально-планировочных, конструктивных и композиционно-эстетических основ проектирования таких объектов выявил широкий спектр возможных решений. В области функционально-планировочной – это диапазон от традиционных жестких, коридорных планировок, до зданий с планировками по типу гибких «ландшафтных» бюро с полностью искусственной внутренней средой и до экологически благоприятных планов «с естественным освещением всех рабочих мест и их естественной аэрацией», как в высотном здании «Коммерц-банка» во Франкфурте-на-Майне. В части конструирования выбор стал практически неограничен в связи с разнообразием современных комбинированных конструктивных систем, позволяющих возводить здания высотой уже около 1,0 км. При этом конструктивные решения (системы и схемы) высоток должны обладать повышенной пространственной устойчивостью и жесткостью к различным нагрузкам внешнего воздействия. Основными горизонтальными нагрузками, учитываемыми в расчетах высотных зданий, являются ветровые и сейсмические. Так, в США при проектировании высоток принимается в расчет максимальная скорость ветра повторяемостью один раз в 50 лет, а для особенно ответственных зданий – 100 лет. В частности, максимальная скорость ветра 63,0 м/сек. (около 230 км/час.), с повторяемостью один раз в 100 лет, была учтена при проектировании двух 110-этажных зданий-близнецов Международного Торгового Центра в г. Нью-Йорке. Композиционно-эстетические требования к небоскремам из-за их сильного влияния на архитектурный облик и силуэт городской застройки очень велики, и поэтому среди всего многообразия решений пока наиболее удачными для восприятия оказались композиции, развивающие образно-тектонический потенциал конструктивных систем и схем этих зданий.

Московская история развития современных высотных зданий зарождалась в начале XX века, во времена расцвета русского авангарда, когда над образами московских небоскребов работали И. Леонидов, Э. Лисицкий, В. Кринский и др. Потом был период конкурсов и начала строительства здания-гиганта - Дворца Советов на месте снесенного храма Христа Спасителя. Завершение строительства этого здания-гиганта, здания-утопии и других подобных небоскребов ниже в историческом центре Москвы могло перевернуть очень многое в отечественной и мировой архитектурной теории и практике. Однако, начавшаяся в 1941 году Великая Отечественная Война помешала сбыться этим грандиозным архитектурным планам.

К строительству московских небоскребов государственная власть вернулась после окончания Великой Отечественной Войны. Масштабы их возведения были ошеломляющими – более 500 тыс. кв. м суммарной площади. На почти одновременное проектирование и возведение восьми «сталинских» высоток (построили только семь из них) были брошены все лучшие архитектурные и инженерные силы того времени. При этом строительство капитальных жилых зданий в послевоенной Москве было практически остановлено. В 1947 году в Москве было построено чуть больше 100 тыс. кв. м жилья, в 1948 – 270 тыс., а в 1949 – 405 тыс. кв. м.

В те трудные для страны-победительницы послевоенные годы, возведение в столице СССР в чрезвычайно короткие сроки (с 1947 по 1955 год) нескольких крупных, высотных, жилых, административных и гостиничных зданий с дворцовыми деталями было, в большей мере, внешним политическим и внутренним идеологическим актом правящей власти, нежели нормальным, человеческим решением социально-экономических проблем жителей, прозябавших в жилищной неустроенности разрушенных военными действиями городов и сел.

При этом, по сути, «сталинские» высотки не стали открытием в мировой архитектурной и строительной практике. Целый ряд принципиальных решений при их возведении был заимствован из многолетнего и богатого, к тому времени, опыта возведения небоскребов в крупнейших городах США, а внешний облик все-таки напоминает в своих деталях типичные американские образцы первой четверти XX века. Да и небоскребами наши высотки назвать можно было с натяжкой, так как из-за огромной массы, собственно функциональная (жилая или административная) часть этих крупных зданий не могла быть значительно выше 25-30 этажей, а почти одна треть их высоты приходилась на востребованные И.В. Сталиным шпили. Но даже такие высотки выглядели настоящими гигантами,

египетскими пирамидами рядом с окружающей их малоэтажной застройкой, поскольку занимали по объему и площади целые кварталы.

После возведения «сталинских» небоскребов возведение высотных зданий в городе фактически прекратилось. Последующие одиночные примеры высотного строительства в Москве, к большому сожалению, часто оказывались гораздо менее удачными с градостроительной и архитектурной точек зрения. Одни нарушили масштаб и единство существующей застройки центра, другие, одинаково поднимая этажность массовой застройки, превратили окраины в железобетонные лабиринты.

К масштабному и запланированному возведению высоток «Нового Кольца Москвы» из 60-ти зданий, 20-ти супервысоток ММДЦ «Москва-Сити», а также строительству множества различных жилых объектов высотой более 100-150 метров (около 200 штук), помимо городских программ, обратились только в конце прошлого века. Многие из последних, самостийных объектов появились в столице не всегда на законных основаниях. А целый ряд таких высоток кардинально менял свою высоту и силуэтные очертания уже в процессе ведущегося строительства. Честно признаем – градостроительные, архитектурные, конструктивные решения и внешний облик этих «доминант» далеко не всегда удачны.

Современная высотная, «точечная» застройка в виде автономного и не всегда оправданного встраивания таких крупных объектов в существующую городскую ткань породила в центральной и срединной зонах Москвы проблемы, когда практически не учитываются: многократное возрастание плотности существующей застройки; разительное нарушение функциональных и планировочных взаимосвязей; явная перегрузка и так перегруженных транспортных коммуникаций и средств передвижения; разрушение-искажение сложившейся и сомасштабной человеку окружающей городской среды.

Еще существующие великолепные панорамы и фрагменты исторической застройки центра и срединной части нашего древнего города, положительно воздействующие на общее восприятие образа столицы России москвичами и приезжими, теперь постепенно исчезают или уродуются не всегда лучшими «образцами» высотной московской архитектуры.

Очень часто многоэтажные «вставки» и супервысотные «штыри» в привычных для москвичей местах справедливо раздражают окружающих своим обликом и откровенно хамски-контрастной посадкой на виду у всех. Таким манером были построены многие крупные объекты в центральной части города (Гостиница на «Красных холмах», «Триумф-палас» на Соколе) и на его окраинах («Алые паруса» на Авиационной улице, «Воробьевы горы» на Минской улице и др.). Архитектура таких «ярких» произведений высотной архитектуры московской современности, мягко говоря, весьма сомнительна из-за своей активной нарочитости обязательно ошеломить и поразить всех окружающих огромным масштабом габаритов и эпатажностью форм этих сооружений.

Возведение в отдельных и разрозненных местах города разного рода жилых и многофункциональных небоскребов пока не способствует гармоничной функциональной, планировочной и объемно-пространственной организации окружающей жилой среды, по крайней мере, для тех, кто живет рядом с этими, подавляющими все и всех вокруг себя, гигантами (жилой комплекс в Измайлово, высотка у пересечения Садового кольца с Долгоруковской улицей и др.). Активно подрастающий в ММДЦ «Москва-Сити» сборище почти одинаковых, стеклянно-бездушных и огромных объемов, похожих в чем-то на снесенный недавно «гнилой зуб» гостиницы «Националь», наводит на грустные мысли о том, что мы, опять бездумно копируя устаревшие западные образцы, снова оказались на задворках современной мировой архитектуры.

Бурное строительство высотных зданий и многофункциональных комплексов, а также их размещение в градостроительной структуре города Москвы – новая, и поэтому еще малоизученная и таящая множество различных «сюрпризов» крупная проблема. К числу основных вопросов и задач этой проблемы можно отнести следующие:

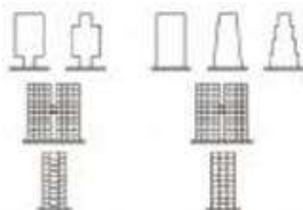
- необходимость принятия обоснованных градостроительных, функционально-типологических и архитектурно-пространственных решений, связанных с предельно допустимой этажностью и высотностью объектов и их внешним обликом;

- обязательный и строгий учет геологических, геофизических и климатических условий московского строительства;
- обеспечение правильного выбора конструктивной системы, схемы и проектных решений с учетом предотвращения потери устойчивости и жесткости сооружения, разрушения и прогрессирующего обрушения конструкций при чрезвычайных обстоятельствах;
- создание комфортных и безопасных для здоровья людей условий постоянного и временного пребывания в здании или комплексе;
- необходимость обеспечения функционального и планировочного взаимодействия жилых и нежилых помещений сооружения, а также их оптимальной вместимости, с транспортной и обслуживающей инфраструктурой города;
- рациональная эффективность современных инженерных решений по жизнеобеспечению и оснащенности здания, а также по энергосбережению и комфортности обслуживания;
- обеспечение требуемой пожарной и эвакуационной безопасности в отношении постоянно и временно находящихся в здании людей, в том числе эффективная минимизация угрозы внешней и внутренней опасности разрушения здания;
- обеспечение возможности проведения реконструкции или перепланировки, которые могут быть вызваны необходимостью изменения в перспективе функционального назначения здания;
- недопустимость отступления от утвержденных проектных решений и изменения (увеличения) этажности и высотности сооружения в процессе его строительства.

Решения руководства города по прекращению и строгой законодательной регламентации выборочного точечного строительства коммерческих, в том числе и высотных, объектов в целях уплотнения существующей застройки настраивают архитектурную общественность столицы на более оптимистичный лад. Тем более, что приведенные недавно в средствах массовой информации нарочитые примеры крупных градостроительных ошибок (функционально-планировочного и визуально-ландшафтного характера) говорят уже о явных недоработках как авторов-проектировщиков, так и направляющих и надзорных архитектурных органов Правительства Москвы.

10. Типология высотных зданий.

В современном высотном строительстве применяют различные конструктивные системы и схемы с разнообразными вариантами компоновок. Вместе с тем все конструктивные системы можно разделить на три категории (рис. 1): каркасные, стеновые и смешанные (каркасностеновые). В свою очередь каркасные системы подразделяются на рамно-каркасные, каркасные с диафрагмами жесткости, каркасноствольные. Среди стеновых систем следует выделить схемы с перекрестными стенами и коробчатые (оболочковые). Смешанные системы сочетают в себе отдельные признаки двух других систем, к ним относят каркасноствольные и коробчато-ствольные.

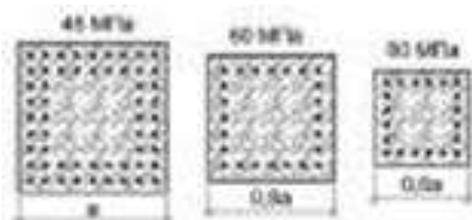


Анализ несущих систем высотных зданий, построенных по всему миру, показывает, что их конструктивное и компоновочное решение зависит главным образом от высоты объекта. Однако существенное влияние на выбор конструктивной схемы оказывают и такие факторы, как сейсмическая активность района строительства, инженерно-геологические условия, атмосферные и в первую очередь ветровые воздействия, архитектурно-планировочные требования.

Высотные здания можно разделить на диапазоны по высоте, для каждого из которых характерны свои конструктивные решения. При этом следует заметить, что границы диапазонов в определенной степени условны в силу перечисленных выше обстоятельств.

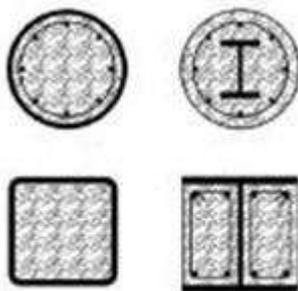
Здания высотой до 200–250 м возводят преимущественно с несущим каркасом (рамный каркас, каркас с диафрагмами жесткости). При строительстве жилых домов и гостиниц применяют и перекрестно-стеновую систему, которая благодаря высокой жесткости наиболее эффективна в зданиях

высотой до 150 м. Эти конструктивные системы имеют компоновочные схемы, наилучшим образом удовлетворяющие объемно-планировочным решениям и функциональному назначению объектов строительства. В связи с этим необходимо отметить, что независимо от высоты здания при разработке его объемно-планировочного решения максимально стараются придерживаться пропорций, обеспечивающих требуемую жесткость строения и ограничивающих колебания верхней части при знакопеременных горизонтальных нагрузках. Обычно отношение меньшего размера в плане к высоте здания составляет 1:7 – 1:8. При соотношениях больше указанных неоправданно увеличивается площадь застройки, а при уменьшении – заметно возрастает деформативность несущего остова, что негативно сказывается как на технико-экономических показателях, так и на пребывании людей на верхних этажах.



Увеличение высоты зданий сопровождается существенным ростом горизонтальных нагрузок, действующих на них в процессе строительства и эксплуатации. Как уже было отмечено, при некоторых условиях напряжения, возникающие в элементах несущего остова здания, определяются в большей степени горизонтальными усилиями. Превалирующее влияние горизонтальных нагрузок приводит к неравномерному распределению вертикальных усилий и деформаций в вертикальных несущих конструктивных элементах остова здания, его закручиванию, сдвиговым деформациям. Для повышения сопротивления внешним воздействиям несущей системы зданий высотой более 250 м применяют преимущественно ствольные конструктивные системы: “труба в трубе” и “труба в ферме”. Их компоновочная схема включает центральный ствол, воспринимающий основную долю всех нагрузок, и расположенные по периметру здания несущие элементы в виде отдельных стоек (колонн), решетчатых систем (ферм, составных стержней и др.), пилонов, которые также могут быть объединены в единую конструкцию. Жесткость ствольной системы, ее устойчивость и способность к гашению вынужденных колебаний обеспечиваются заделкой центрального ствола в фундамент.

В случаях, когда жесткости стеновой, каркасной или ствольной системы недостаточно, прибегают к комбинированным решениям, сочетающим в себе признаки разных конструктивных решений. В частности, для повышения сопротивления несущего остова здания возрастающим с высотой над уровнем земли ветровым нагрузкам применяют комбинацию ствольной и стеновой систем. В этом случае горизонтальные нагрузки воспринимаются не только внешней оболочкой и центральным стволом, но и внутренними несущими стенами. Комбинированная конструктивная система обладает большей конструктивной гибкостью в части возможности распределения доли воспринимаемых усилий за счет варьирования жесткости несущих элементов остова.



Следует заметить, что повышения сопротивляемости здания ветровым нагрузкам можно достигнуть не только за счет применения соответствующих конструктивных систем, но и путем придания определенной формы в плане. Многочисленные зарубежные исследования, выполненные

продуванием моделей в аэродинамических трубах и компьютерной симуляцией с помощью программного обеспечения, показали, что оптимальной формой плана высотного здания является круг или фигура, близкая по форме к кругу. Эллиптическая и квадратная формы хотя и уступают круглой, но также обеспечивают достаточную сопротивляемость здания горизонтальным нагрузкам. В качестве примеров можно привести здания Marina City в г. Чикаго (США), Petronas Towers в г. КуалаЛумпур (Малайзия), Taipei101 в г. Тайпэй (Тайвань). Другие высотные здания близкой этажности имеют аналогичные очертания в плане.

Говоря о предпочтительных формах планов высотных зданий, необходимо отметить, что при прочих равных условиях наилучшими показателями обладают сечения минимум с двумя осями симметрии. Такие здания менее других чувствительны к изменению направления действия горизонтальных нагрузок, а количество типоразмеров несущих конструкций сокращается до минимума. Практика свидетельствует о том, что сооружения сложной формы целесообразно проектировать составными из нескольких блоков, имеющих более простые по форме сечения.

Высотное строительство часто осуществляется в сейсмически активных районах. Это порой приводит к противоречивым результатам влияния жесткости каркаса на поведение здания при ветровых и сейсмических нагрузках. Если для улучшения сопротивления ветровому напору и уменьшения амплитуды и частоты колебаний верха здания прибегают к увеличению жесткости несущего остова, то при сейсмических нагрузках такие здания не способны поглотить энергию толчков земной коры, что вызывает значительные перемещения и ускорения на верхних этажах. С уменьшением поперечной жесткости несущей системы наблюдается обратная картина – при более гибком скелете заметно ухудшаются комфортные условия на верхних этажах, испытывающих значительные колебания.

Для устранения указанных противоречий в особо высоких зданиях (до 300 м и более) на верхних этажах устраивают пассивные маятниковые демпферы. В частности, такой демпфер установлен в башне Taipei101. Он имеет вес около 800 т, подвешен с помощью тросов на 92м этаже и предназначен для гашения инерционных колебаний. В обычных условиях эксплуатации демпфер обеспечивает отклонение верха здания в пределах до 10 см, а при воздействиях катастрофического характера (тайфуны, землетрясения и т.п.) сам раскачивается с амплитудой до 150 см, гарантируя колебания здания в безопасных пределах.

Повышение изгибной жесткости несущего остова высотных зданий со ствольными конструктивными системами и их сопротивляемости действию динамических горизонтальных воздействий достигают введением в каркас аутригерных структур (рис. 2), выполняющих функцию элементов, несущих на себе часть нагрузки от перекрытий. Как правило, это достаточно жесткие плоские или пространственные конструкции, расположенные по высоте здания с определенным шагом и соединенные между собой вертикальными стержневыми элементами. Включение аутригерных структур принципиально изменяет характер работы каркаса и позволяет регулировать его реакцию на внешние воздействия. Аутригеры высотных зданий, в конструктивном отношении представляющие собой раскосные или безраскосные фермы (последние известны под названием “балка Веренделя”), обычно располагают в уровнях технических этажей, разбивающих здания на отдельные функциональные и противопожарные отсеки.

11. Конструктивные системы высотных зданий.

Чтобы свободно творчески компоновать различные здания необходимо в совершенстве знать современные инженерные конструкции и уметь применять их в соответствии с их возможностями и экономикой.

Конструктивное решение здания в целом определяется на первом этапе проектирования выбором конструктивной системы и конструктивной схемы.

Выбор конструктивной системы влияет на планировочное решение, архитектурную композицию и экономическую целесообразность проекта.

В свою очередь на выбор конструктивной системы оказывают влияние типологические особенности проектируемого здания, его этажность и инженерно-геологические условия строите.

Основные положения. Конструктивной системой здания называется совокупность взаимосвязанных конструкций здания, обеспечивающих его прочность, жесткость и устойчивость. Принятая конструктивная система здания должна обеспечивать прочность, жесткость и устойчивость здания на стадии возведения и в период эксплуатации при действии всех расчетных нагрузок и воздействий.

Выбор конструктивной системы здания определяет статическую роль каждой из его конструкций. Материал конструкций и технику их возведения определяют при выборе строительной системы здания.

Конструктивная система может быть однородной (основной) или комбинированной.

Основные (однородные) конструктивные системы

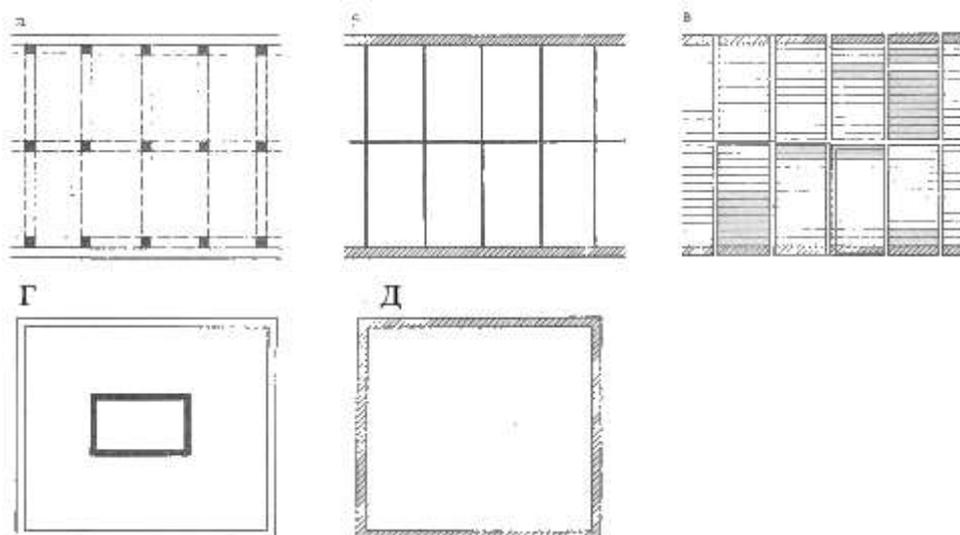
В зависимости от внешнего вида несущей конструкции (ее похожесть на стойку, пластину, оболочку и объемный элемент) различают пять классических (основных) конструктивных систем:

- ✓ каркасную (вертикальная несущая конструкция колонна),
- ✓ стеновую (диафрагмовую, бескаркасную) (вертикальная несущая конструкция стена),
- ✓ объемно-блочную (несущая конструкция блок),
- ✓ ствольную (объемно-пространственная внутренняя несущая конструкция стволы жесткости (ядро жесткости));
- ✓ оболочковую (периферийную) (объемно-пространственная внешняя несущая конструкции на высоту здания в виде тонкостенной оболочки замкнутого профиля, образующей одновременно и наружную ограждающую конструкцию здания).

Внедрение в строительство двух последних видов конструктивных систем (ствольной и оболочковой) началось с 60-х годов прошлого столетия. Их изобретение запатентовано американским инженером Ф.Каном в 1961г.

Стойечно-балочная конструкция и каркасные системы. Самой древней конструктивной системой, действующей в наши дни, является стойечно-балочная система. Она возникла ещё в эпоху неолита.

Стойечно-балочная конструкция состоит из вертикальных и горизонтальных стержневых несущих элементов. Вертикальный элемент – стойка (колонна, столб) – представляет собой прямолинейный стержень, который воспринимает все вертикальные нагрузки от горизонтального элемента (балки); горизонтальные нагрузки, приходящиеся на стойку, и передает усилия от этих воздействий на фундамент. При этом сама стойка работает на сжатие и изгиб. Горизонтальный элемент стойечно-балочной системы – балка (брус) – прямолинейный стержень, работающий на поперечный изгиб под действием вертикальных нагрузок.



Планы основных конструктивных систем жилых зданий: а - каркасная; б - бескаркасная; в - объемно-блочная (столбчатая); г - ствольная; д - оболочковая.

Сопряжения вертикальных и горизонтальных элементов могут иметь различную жесткость, что отражается на характере их совместной работы.

При шарнирном опирании балки обладают свободой горизонтальных перемещений и поворота на опоре, в связи с этим они передают на стойки только вертикальные усилия.

При жестком сопряжении балки со стойкой обеспечивается совместность их деформаций и перемещений в узле сопряжения и возможность передачи изгибающего момента от балки на стойку. Такой вариант стоечно-балочной системы носит название рамы или рамной конструкции, а жесткий узел сопряжения балки со стойкой – рамного узла.

Стойечно-балочные конструкции выполняют с различным числом пролетов и ярусов (этажей). Система несущих конструкций здания в виде многопролетной и многоэтажной стоечно-балочной конструкции называется каркасной системой.

Каркас представляют собой систему, состоящую из стержневых несущих элементов – вертикальных (колонн) и горизонтальных балок (ригелей), объединенных жесткими горизонтальными дисками перекрытий и системой вертикальных связей.

Системе присуще четкое разделение на несущие и ограждающие конструкции. Несущий остов (колонны, ригели и диски перекрытий) воспринимает все нагрузки, а наружные стены выполняют роль ограждающих конструкций, иногда воспринимая собственный вес (самонесущие стены). Это дает возможность применять материалы прочные и жесткие – для несущих элементов каркаса, и тепло – звукоизоляционные материалы – для ограждающих. Использование высокоэффективных материалов позволяет добиться снижения веса здания, что положительно сказывается на статических свойствах здания.

Каркасная система с пространственным рамным каркасом применяется преимущественно в строительстве многоэтажных сейсмостойких зданий, высотой более девяти этажей, а также в обычных условиях строительства при наличии соответствующей производственной базы.

Каркасная система - основная в строительстве общественных и промышленных зданий. В жилищном строительстве объем ее применения до недавнего времени был ограничен.

Основа противопожарных требований при проектировании жилых зданий – последовательное создание вертикальных преград огню – брандмауэров. В сооружении каркасного типа создание брандмауэров велось по встраиванию между колоннами несгораемых вертикальных диафрагм жесткости. Таким образом, заранее ограничивались возможности пространственной планировки, основного преимущества каркасных систем.

Системы перекрытий с древности проектировались из стереотипного подхода к компоновке балочной клетки, т.е. состояли из балок (ригелей) и настила, так конструктивно решаются и деревянные перекрытия. Затем появляются железобетонные ребристые плиты перекрытия, в которых этот подход уже слит в один конструктивный элемент. Появившиеся позднее плоские пустотные плиты перекрытий – являются значительным шагом в проектировании систем зданий нового типа.

В индустриальных жилых зданиях, в сравнении с традиционными сооружениями, имевшими смешанные покрытия, включавшие фрагменты деревянных перекрытий, горизонтальные несущие конструкции впервые начинают выполнять роль «диафрагм жесткости», кроме того, перекрытия воспринимают горизонтальные нагрузки и воздействия (ветровые, сейсмические и др.) и передают усилия от этих воздействий на вертикальные конструкции.

Передача горизонтальных нагрузок и воздействий осуществляется двояко: либо с распределением их на все вертикальные конструкции здания, либо на отдельные специальные вертикальные элементы жесткости (стены, диафрагмы жесткости, решетчатые ветровые связи или стволы жесткости). Индустриальный тип зданий предоставляет и промежуточные решения – передача нагрузки возможна с распределением горизонтальных нагрузок в различных пропорциях между элементами жесткости и конструкциями, работающими на восприятие вертикальных нагрузок.

Каркасы, применяемые в гражданском строительстве, можно классифицировать по следующим признакам:

По характеру статической работы:

- рамные – с жестким соединением несущих элементов (колонны, ригели) в узлах в ортогональных направлениях плана здания. Каркас воспринимает все вертикальные и все горизонтальные нагрузки. Каркас, состоящий из поперечных и продольных рам (рамный каркас), обладает пространственной жесткостью: его деформации под влиянием силовых воздействий минимальны и не нарушают эксплуатационных качеств здания. Рамные каркасные системы рекомендуется применять для малоэтажных зданий.

- рамно-связевые – с жестким соединением в узлах колонн и ригелей в одном направлении плана здания (создание рамных конструкций) и вертикальными связями, расставленными в перпендикулярном направлении рамам каркаса. Связями служат стержневые элементы (крестовые, порталные) или стеновые диафрагмы, соединяющие соседние ряды колонн. Вертикальные и горизонтальные нагрузки воспринимаются рамами каркаса и вертикальными пилонами жестких связей. Рамно-связевые каркасные системы рекомендуется применять, если необходимо сократить количество диафрагм жесткости, требуемых для восприятия горизонтальных нагрузок.

- связевые – отличаются простотой конструктивного решения соединений колонн с ригелями, дающее подвижное (шарнирное) закрепление. Каркас (колонны, ригели) воспринимает только вертикальные нагрузки.

Горизонтальные усилия передают на связи жесткости – ядра жесткости, вертикальные пилоны, стержневые элементы. Каркас с шарнирными сопряжениями пространственной жесткостью не обладает. Для ее обеспечения вводятся специальные конструкции вертикальных связей. В качестве связей могут быть использованы отдельные стены (диафрагмы жесткости), рамы, раскосы и др. В рамных и связевых каркасах горизонтальными диафрагмами жесткости служат конструкции перекрытий.