

Е.А. Веселова, С.В. Комшин

**КОНСТРУКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ ЖИЛЫХ  
ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ**

Монография

Нижний Новгород  
2022

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

---

Е.А. Веселова, С.В. Комшин

# КОНСТРУКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ ЖИЛЫХ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

Монография

Нижегород  
ННГАСУ  
2022

ББК 38  
В 38  
К 63  
УДК 728.2.012.27

Рецензенты:

*Шиман В. Ю.* – заслуженный строитель РФ, член Союза архитекторов России  
*Даняев Н. Я.* – директор ООО «ПроектНН», лицензированный архитектор

Веселова Е.А. Конструктивные системы жилых высотных зданий [Текст]: монография / Е.А. Веселова, С.В. Комшин; Нижегород. гос. архитектур.- строит. ун-т. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2022. – 141 с. ISBN 978-5-528-00495-2

В монографии рассмотрены исторические этапы развития конструктивных систем высотных зданий в России и за рубежом, анализируются конструктивные системы современных жилых высотных зданий из железобетона, металла и дерева, а также представлены современные тенденции развития конструктивных систем высотных зданий.

Для специалистов в области архитектуры и строительства. Рекомендуются преподавателям, аспирантам, студентам строительных направлений и специальностей.

ББК 38

ISBN 978-5-528-00495-2

© Веселова Е.А.,  
Комшин С.В., 2022.  
© ННГАСУ, 2022.

## СОДЕРЖАНИЕ

Общая характеристика	работы	4
.....		
ГЛАВА I. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ		6
.....		
1.1. Основные исторические этапы развития высотных зданий		6
.....		
1.2. История развития конструкций и конструктивных систем в США		7
1.2.1. Высотное строительство в Нью-Йорке		10
.....		
1.2.2. Небоскребы в Чикаго		17
.....		
1.2.3. Высотные здания в некоторых крупных городах США		20
.....		
1.3. История развития конструкций и конструктивных систем в странах Европы		22
1.4. История развития конструкций и конструктивных систем в странах Азии, Австралии и Ближнего Востока		28
1.5. История развития конструкций и конструктивных систем в России		42
Выводы по Главе I		62
.....		
ГЛАВА II. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКТИВНЫХ СИСТЕМ СОВРЕМЕННЫХ ЖИЛЫХ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ		68
2.1. Современные конструктивные системы жилых высотных зданий из железобетона		74
2.2. Современные конструктивные системы жилых высотных зданий из металла		88
2.3. Современные конструктивные системы жилых высотных зданий из дерева		100
2.4. Анализ применения разных материалов по высоте		113
Выводы по Главе II		114
ГЛАВА III. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ СИСТЕМ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ		118
Выводы по Главе III		138
ЗАКЛЮЧЕНИЕ		139
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ		140

## **Общая характеристика работы**

### **Актуальность исследования.**

Одна из основных потребностей человека, начиная с древнего мира и до наших дней, - это комфортное и безопасное жилье. Так как население нашей планеты постоянно увеличивается, потребность в жилье также неустанно растет. Еще первые люди начали образовывать поселения из соображений безопасности и удобства совместной работы, позднее эти поселения переросли в города, а еще позднее - в современные мегаполисы.

Современные мегаполисы представляют собой густонаселенные районы, где ежедневно живут и работают миллионы, а в отдельных случаях и десятки миллионов человек. В таких условиях малоэтажное строительство быстро уступило место многоэтажному, а позднее - высотному домостроению.

Таким образом, города стали очень быстро расти вверх, ставя все новые рекорды высоты. С покорением высоты конструкция небоскребов становилась все сложнее. Во всем мире ежедневно решаются сложнейшие инженерные задачи, связанные со строительством небоскребов. От разработки быстрых лифтов и мощных насосов перекачки воды до обеспечения сейсмоустойчивости и жесткости конструкций при самых агрессивных природных воздействиях. Развитие конструкций на сегодняшний день поражает воображение. Человечество уже достигло высоты более 800 м, строит небоскребы в пустынях со слабыми грунтами и на побережье океанов с экстремальными погодными условиями, тайфунами и землетрясениями.

Наряду с сверхвысокими и конструктивно сложными небоскребами строятся и здания поменьше, именно они становятся домами жилого назначения. Часто их строят рядом друг с другом, образуя высотные кварталы. Они позволяют эффективно использовать территорию мегаполисов, создавая инфраструктуру для жизни, работы и отдыха. Такие высотные кварталы еще называют «город в городе». Главная задача проектировщиков современных жилых небоскребов - обеспечить комфортные условия для жителей, найти баланс высотности и конструктивного решения.

Развитие высотного жилого строительства, их архитектурная уникальность, их конструктивные и функциональные решения с момента возведения первого жилого небоскреба до сегодняшнего дня являются источниками актуальности данной научно-исследовательской работы.

### **Цель исследования.**

Теоретическое обобщение сведений о развитии высотного строительства, проведение исследования конструктивных систем высотных зданий из разных материалов, в том числе конструктивных систем жилых высотных зданий.

### **Задачи исследования.**

- изучить мировую историю возникновения высотного строительства;
- изучить конструктивные системы жилых высотных зданий из разных строительных материалов;
- выявить современные тенденции развития высотного домостроения.

### **Объект исследования.**

Высотные здания прошлого, а также современного строительства в России и зарубежных странах.

### **Предмет исследования.**

Конструктивные системы высотных жилых зданий, небоскребов из металла, железобетона и дерева.

### **Методы исследования.**

Поиск и анализ источников информации, содержащих данные о истории развития высотного строительства в России и за рубежом. Рассмотрение конструктивных систем высотных жилых зданий из различных строительных материалов с целью выявления наиболее рационального их применения по высотности.

### **Научная новизна.**

- выделены основные этапы развития высотного строительства;
- выявлены особенности высотного строительства в разных странах мира;
- определены особенности конструктивных систем высотных жилых зданий с применением различных строительных материалов;
- выявлены современные тенденции развития высотного домостроения.

### **Практическая значимость исследования.**

Теоретические положения исследования, содержащиеся в работе, анализ применяемых конструктивных систем в высотном домостроении с

применением различных строительных материалов могут быть применены в учебных курсах для направления 08.04.01 – «Строительство».

## **ГЛАВА I. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ**

### **1.1. Основные исторические этапы развития высотных зданий**

С началом бурного развития промышленности концентрация населения в городах значительно увеличилась. В связи с этим появилась необходимость строительства большого количества многоэтажных и высотных зданий. Первым городом, в котором стали строить высотные здания, стал Чикаго, в конце XIX в. один из передовых городов США.

В Чикаго впервые стали возводиться здания в 12-16 этажей, что привело к некоторым трудностям при их эксплуатации. Во-первых, водяные насосы того времени могли подавать воду только на высоту 15 м; во-вторых, подъем выше 5-7 этажей также не способствовал возведению высоких зданий в 10-12 этажей, и только применение каркасной системы, изобретение безопасного лифта, разработка более мощных насосов создали возможность увеличивать высоту зданий до 100 и более метров.

Одним из первых теоретиков высотного строительства был Луис Салливан, сформулировавший пять основных принципов возведения высотных зданий, которые используют все современные архитекторы.

Первый – небоскребу необходим подземный этаж, в котором размещаются силовые установки и инженерное оборудование, обеспечивающее здание энергией и теплом.

Второй – первый этаж должен содержать общественные места, магазины и иные заведения, которым необходимо большое пространство, много света, яркие витрины и легкий доступ с улицы.

Третий – второй этаж должен иметь не меньше света и простора, чем первый, поскольку он легко достижим с помощью лестниц.

Четвертый – между вторым и самым верхним этажом должны располагаться офисные помещения.

Пятый – самый верхний этаж, так же как и подземный, должен быть техническим. В нем должны находиться система вентиляции и другое инженерное оборудование.

Проходя длинный путь развития проектирования и строительства высотных зданий, их архитектура, конструкции и инженерное оборудование постоянно менялись. Изобретения в области строительства, технологии, различные влияния, оказываемые законодательством, архитектурные теории и стили оставили свой след в высотном строительстве.

## 1.2. История развития конструкций и конструктивных систем в США

До 1891 года специальных норм для проектирования высотных зданий не существовало, поэтому архитекторам в то время приходилось пользоваться строительными нормами для обычных зданий средней этажности. В этот период развития высотных зданий, здание 10-12 этажей уже считалось высотным объектом. Конструктивная схема этих объектов перекрестно-стеновая, а основным материал несущих стен - кирпич. Последним этапом строительства зданий из кирпича стало строительство 16-этажного кирпичного здания «Монаднок Билдинг» в 1891 году в Чикаго. Проектировщики, пытаясь увеличить количество этажей здания, используя традиционную перекрестно-стенную конструктивную систему, пришли к тому, что толщина стен первого этажа достигала от двух до четырех метров. Именно в этот момент окончательно доказана несостоятельность и бесперспективность использования кирпичных стен в качестве несущей конструкции высотных домов. Тем не менее, построенное здание «Монаднок Билдинг» (рис. 1.1) - это первый высотный дом, который был оборудован лифтом, имел электроосвещение и телефонную связь.



Рисунок 1.1 - Монаднок Билдинг

Начиная с 1891 года, в высотном строительстве происходит переход на каркасную систему и использование металла (сначала чугуна, а затем стального проката) в качестве материала несущих конструкций. Это стало

следующим этапом развития высотного домостроения, который продолжался до 1916 года. Каркасные здания сильно отличались в лучшую сторону от кирпичных предшественников. Внутреннее пространство освободилось от мощных капитальных кирпичных стен. А самое главное - каркасные конструкции оказались значительно дешевле, также каркасная конструктивная система, совместно с применением лифтов, открыла перспективу для значительного увеличения этажности зданий.

Чикаго стал первым городом, в котором появилась идея применения стального каркаса в строительстве высотных зданий. Хотя первый шаг был сделан в Англии еще в начале XIX века. Несущие конструкции фабричных зданий состояли из чугунных стоек и балок, а самонесущие наружные стены выполнялись из кирпича. В середине XIX века американец Джеймс Богард собирает наружные стены из чугунных деталей, достигая этим гораздо лучшего освещения помещений, чем при каменных стенах.

В развитие стального каркаса, самую большую лепту внесла Чикагская школа, благодаря которой были разработаны принципы применения стального каркаса в качестве несущей конструкции. Также Чикагская школа создала и развила архитектурные формы, характерные для каркасных зданий. Главное отличие Чикагской школы от Богарда, использовавшего в основном чугун, заключалось в применении стали, которая обладает прочностью не только на сжатие, но и на растяжение. Стойки и балки соединяются между собой так, что каркас от фундамента до крыши образует законченную и жесткую несущую конструкцию.

Впервые стальной каркас стал основной несущей конструкцией здания в 1883-1885 годах при постройке «Хоум Иншюрэнс Билдинг» (рис. 1.2) в Чикаго. Именно с этого здания началось стремительное развитие архитектуры высотных домов в Чикаго. Однако специалисты отмечают: членения фасадов Хоум Иншюрэнс Билдинг еще тяжелы и слишком монументальны. В отличие от него, построенное в 1890 году здание «Релайнс» (рис. 1.3) характеризуется легкостью форм, логически вытекающей из самой стальной конструкции.

К этому времени важную роль в высотном домостроении играла так называемая «Чикагская архитектурная школа», у истоков которой стоял Луис Салливен (1856-1924). Он полнее других исследовал конструктивные и функциональные проблемы высотного строительства.

Вопросы, поставленные Салливаном, и ответы, которые он получил, в свое время были не так очевидны, какими они представляются нам сегодня. Эти мысли приводят его к членению здания по высоте на три части. Первые два этажа объединены, так как они предназначены для аналогичных функций, выше идут однотипные этажи офисных

помещений. Последний этаж является техническим этажом с небольшим количеством проемов.



Рисунок 1.2 - Хоум Иншюрэнс Билдинг



Чикаго. «Релайнс-билдинг», 1894 г.

Рисунок 1.3 - Релайнс

Эти теоретические взгляды Салливен воплощает в жизнь при строительстве «Уэйнрайт Билдинг» (рис. 1.4) в Сент-Луисе (1890-1891) и «Гаранти Траст Билдинг» (рис. 1.5) в Буффало (1895). Идеи Салливена были для своего времени революционными. Сама мысль Салливена, что проектирование сооружения должно начинаться изнутри, то есть что однообразие офисных помещений должно быть отражено и во внешнем облике здания, была для того времени новаторской. Господствовавший тогда эклектизм привык компоновать фасад по готовым образцам, мало заботясь о функциональном назначении сооружения. И случилось так, что эти эклектические установки взяли верх над предпринятыми в Чикаго начинаниями, которые впоследствии привели к современным высотным зданиям.

В 1892 году с использованием стального каркаса в Чикаго был построен 20-этажный Мормонский храм высотой 100 метров, который получил титул самого высокого здания в мире. Впервые на его крыше была размещена смотровая площадка. Переход на стальные прокатные профили в качестве материала несущих конструкций и, соответственно, на клепаные соединения позволил реализовать на практике преимущества каркасной системы. С этого момента началось покорение высоты, так

называемая «гонка по вертикали». К одному из первых многоэтажных зданий относят и 21-этажное здание «Транспорт-билдинг», которое было построено также в Чикаго в 1892 году.



Рисунок 1.4 - Уэйнрайт Билдинг



Рисунок 1.5 - Гаранти Траст Билдинг

### 1.2.1. Высотное строительство в Нью-Йорке

Манхэттен, находящийся на полуострове, служит деловым центром Нью-Йорка. Он стал крайне удачным местом для строительства небоскребов благодаря своей геологии. От болотистой почвы Чикаго Нью-Йорк выгодно отличало гранитное основание, что позволило строить более высокие дома при меньших затратах на устройство фундаментов.

В 1900-1920 годах в истории высотных зданий начался период эклектики. Первое высотное здание на полуострове Манхэттен «Флэтайрон Билдинг» (рис. 1.6) - было построено к 1902 году. Это одна из самых известных высоток Манхэттена. Флэтайрон («Утюг») такое название получил из-за своей треугольной формы. Флэтайрон Билдинг стал одним из первых зданий со стальным каркасом, это позволило возвести его высотой 87 метров. Фасад здания разделен на три части: основание, которое облицовано тесаным камнем, среднюю основную часть со многими уровнями и верхнюю часть, состоящую из пентхауса с очень

высокими арками, колоннами и нависшим над ним резным карнизом. Имея трехчастное деление с острым передним углом, ширина закругления которого всего два метра, Флэтайрон несет в себе черты античного стиля, напоминая дворцы эпохи Возрождения.



Рисунок 1.6 - Флэтайрон Билдинг



Рисунок 1.7 - Вулворт Билдинг

С 1913 года активность высотного домостроения перемещается в Нью-Йорк. 59-этажное здание высотой 241 м «Вулворт Билдинг» (рис. 1.7) было построено в 1913 году. Фасад украшен элементами, типичными для готического стиля, такими как стрельчатые арки, башенки, водосточные желоба в виде горгулий. В нем впервые были применены скоростные лифты, система полного кондиционирования воздуха, электрическое освещение и оснащение телефонной связью. Именно с возведением этого здания появилось слово «небоскреб». «Вулворт Билдинг» произвел настоящую архитектурно-строительную сенсацию, а также стал символом мощи и процветания Нью-Йорка. В отличие от Чикаго деловой центр Нью-Йорка, расположенный на полуострове Манхеттен, был плотно застроен. Земельные участки были очень дорогими, поэтому заказчики стремились к максимально возможной высоте своих зданий. Так возник новый для того времени образ высотного здания: узкой, устремленной вверх башни.

Высокая плотность построенных небоскребов привела к затемнению и нарушению аэрации улиц. В связи с этим в США впервые в 1916 году

был принят муниципальный закон и введены нормы, регламентирующие соотношение высоты здания и ширины прилегающих улиц.

Согласно этим нормам, здание могло быть выше, если сужалось к вершине. Как следствие принятия муниципального закона, появилась ступенчатая конфигурация небоскребов. Новый тип высотных домов вступил в соревнование за обладание титулом «Самое высокое здание мира». Построенные таким образом здания представляли собой высотные структуры, состоящие из трех отчетливых уровней со значительно выступающими пиками. В последующий период строительства, в той или иной мере ступенчатость присутствовала почти во всех высотных домах.

Первый в истории жилой высотный дом «Ритц Тауэр» (рис. 1.8) - 41 этаж и высотой 165 м, построенный в 1925 году, стал сенсацией. В нем располагались квартиры класса «люкс».

77-этажный небоскреб «Крайслер Билдинг» (рис. 1.9) построен в 1930 году. Коническая громада небоскреба опирается на трехэтажное основание, которое занимает площадь целого квартала. Центральную секцию небоскреба образуют многочисленные этажи, над которыми нависают подобия карнизов, декорированных орлиными головами; поднимаясь выше, она постепенно переходит в сверкающий шпиль.



Рисунок 1.8 - Ритц Тауэр



Рисунок 1.9 - Крайслер Билдинг

Самое высокое здание мира – слишком желанный титул для крупной компании, которой принадлежит объект. Так, в 1930 г. победитель гонки по вертикали был неизвестен до последнего. Две фирмы «Крайслер» и «Бэнк оф Манхеттен» строили два небоскреба недалеко друг от друга. Проектная высота зданий держалась в секрете. Когда строительство двух небоскребов было закончено, стало ясно, что «Бэнк оф Манхеттен» выше. Но через несколько дней из шатра, которым был увенчан «Крайслер Билдинг», выдвинулся вверх высокий шпиль. С учетом шпиля «Крайслер» стал самым высоким зданием в мире - 319 метров.

Однако рекорд, установленный «Крайслер Билдингом», продержался недолго, всего несколько месяцев. В 1931 году был построен «Эмпайр Стейт Билдинг» (рис. 1.10) высотой 381 метр (102 этажа).



Рисунок 1.10 - Эмпайр Стейт Билдинг



Рисунок 1.11 - Рокфеллеровский центр

Но создателям «Эмпайр Стейт Билдинг» такой высоты было мало и в начале 1950-х годов на здании установили телевизионную антенну. Его высота составила 448 метров. Таким образом «Эмпайр Стейт Билдинг» 40 лет оставался самым высоким зданием в мире. Стальной рамный каркас этого здания показал, насколько высокие сооружения можно возводить

благодаря такой технологии. Хотя здание и обладает большими размерами, оно не теряет в изящности пропорций. Верхние этажи расположены тремя уступами и находятся несколько в глубине по отношению к общей линии фасада. Здание построено в элегантном и скромном стиле ар-деко. По всему фасаду с отделкой из серого камня тянутся вертикальные полосы из нержавеющей стали.

В 1940 году в Нью-Йорке было завершено строительство высотного комплекса нестандартного для небоскребов. В то время как «Эмпайр Стейт Билдинг» снискал популярность как самое высокое здание, Рокфеллеровский центр (рис. 1.11) выделялся своими объемами. Гигантский комплекс зданий, построенных в Манхеттене, принадлежит Джон Д. Рокфеллер-младшему. Самое крупное в мире городское частное владение по факту является отдельным городом в городе.

Вторая мировая война имела сильное влияние на все процессы в мире, в частности – на строительство высотных зданий, и после ее окончания в течение пяти лет нигде высотных зданий не возводилось.

1961 год ознаменовался переходом к новой тенденции в высотном строительстве. Началось активное строительство зданий на стилобатах. Принятые в Нью-Йорке новые законодательные акты регламентировали организацию общественных зон. Если прежде основное внимание уделялось верхней части сооружения, то с этого времени акценты переместились на его основание, где располагались зоны публичного пользования. В них могли быть атриумы, торговые площади, зоны отдыха и прочее.

В последующие годы Нью-Йорк еще не раз выделялся своими уникальными небоскребами. Так, например, необычный небоскреб построен в центре Манхеттена. Он интересен не только крышей, которая скошена под углом в  $45^\circ$ , а также необычной конструкцией основания. Это «Ситикорп Центр» (рис. 1.12), высотой 279 метров, построенный в 1977 году. Основание небоскреба стоит на четырех огромных колоннах, которые расположены посередине каждой стороны квадрата. Тем самым образуется большое открытое общественное пространство высотой 30,5 метра, которое положительно сказывается на внешнем облике прямоугольного здания. Этот конструктивный прием впоследствии стал часто использоваться в высотном строительстве. Новая церковь Св. Петра и вестибюль станции метро разместились прямо под башней, во внутреннем пространстве. Свободное внутреннее пространство с выходящими к нему этажами делает такое решение еще более оригинальным и более удобным по сравнению с традиционными прямоугольными «коробками» Нью-Йорка. Популярности небоскребу придало создание общественного пространства. Этот факт заставил

строителей по-новому посмотреть на правила, регулирующие плотность застройки Манхеттена. Конструктивная схема здания каркасно-ствольная. Вертикальными несущими конструкциями являются центральный стержень и четыре колонны. Стальная структура небоскреба делится на шесть секций по восемь этажей. Для защиты здания от ветрового воздействия оно оборудовано глушителем колебаний - 440-тонным бетонным блоком, установленным в верхней части небоскреба и управляемым компьютером.



Рисунок 1.12 - Ситикорп Центр

Очень необычное здание Нью-Йорка построено в 1986 году - это 138-метровый «Липстик Билдинг» (рис. 1.13).

Отличительной особенностью этого здания является его необычная и оригинальная эллиптическая форма. «Липстик Билдинг» облицован чередующимися горизонтальными полосами из красного гранита и лентами окон. По вертикали башня разделена на три части, которые уменьшаются кверху. Основание опирается на колонны, через которые можно попасть в холл.

Построенное в 2006 году здание «Херста» (рис. 1.14) можно отнести к высотным зданиям, возведенным в Нью-Йорке в последние годы. Цокольными этажами этого небоскреба является здание штаб квартиры газетного магната Уильяма Херста, построенное в 1928 году.

Компания хотела построить высотное здание над старым зданием. Но это оказалась не так просто, так как с 1988 года фасад здания «Херста» является историческим памятником, а значит любое дополнение к нему

требовало одобрения городского совета по охране памятников. Заказчик видел символизм этого проекта в том, что башня должна связать прошлое с настоящим и будущим. Для осуществления задуманного в 1999 году был приглашен англичанин Норман Фостер, который доказал, что современный дизайн должен демонстрировать приверженность ко всему передовому, органически сочетать новое и старое.



Рисунок 1.13 - Липстик Билдинг



Рисунок 1.14 - Здание Херста

Так получилась необычная высотка, которая состоит из двух совершенно не похожих друг на друга зданий. Снизу - 6-этажный цоколь, выполненный в причудливом эклектичном театральном стиле, а сверху это новая 46-этажная футуристическая башня из стали и стекла. Стильная башня находится в полном сочетании с историческим зданием. Внутреннее пространство цоколя представляет собой единый объем со стеклянными потолками 33-метровой высоты и напоминает крытую городскую площадь, ограниченную фасадами.

Диагонально перекрещивающиеся стальные балки, выделенные на фасаде башни, - это не жест архитектора, а оригинальное решение президента нью-йоркской инженерной академии Ахмеда Рахимиана, который предложил использовать преимущества треугольника как наиболее стабильной и жесткой геометрической фигуры. Это решение было продиктовано и тем, что архитекторы в проекте сместили лифтовые

шахты от центра к западному фасаду, для того чтобы улучшить открывающийся с разных этажей вид на город. Для несимметричного решения плана наиболее эффективной оказалась структура с перекрещивающимися диагоналями. Применение этой структуры позволило избежать использования вертикальных колонн по углам здания и увеличить расстояние между опорами, что дало более гибкую планировочную структуру. Диагональные линии на фасаде визуально разбивают крупные плоскости здания и делают объем динамичным, стильным.

Строительство высотных зданий в Нью-Йорке продолжается. Многочисленные небоскребы поражают своим разнообразием, необычной пластикой, новаторством архитектурных решений и прекрасно вписываются в жесткую структуру улиц Манхэттена.

### **1.2.2. Небоскребы в Чикаго**

В 1895 году в Чикаго принят закон, ограничивающий высоту зданий. Таким образом город длительное время не участвовал в гонке по вертикали, а возобновилась она здесь лишь в пятидесятых годах XX века.

Еще в 1919 году архитектор Мисс ван дер Роэ исследовал проблемы современной архитектуры. Он выделял три основных направления:

1. Использование складчатых или гладких поверхностей остекления как элемента архитектуры
2. Горизонтальное членение здания как выражение его внутренней структуры
3. Расчленение объема жилого дома по функциональному признаку.

Достаточно исследовав эту проблему, Мисс ван дер Роэ предложил всему миру и, в частности, Чикаго новый тип технологичного в монтаже и экономичного высотного здания. Новый небоскреб является четырехугольной призмой, которая со всех сторон ограничена сплошными стеклянными плоскостями. Технологическая возможность возведения такого здания возникла после разработки стекла с высокими прочностными свойствами. Также к фасадному стеклу предъявляются требования безопасности, так например оно не должно отражать солнечные лучи, чтобы блики не мешали водителям и прохожим. Сейчас используются высокопрочные стекла, тонированные в различные цвета.

Впервые идея Мисс ван дер Роэ осуществилась в 1951 году во время возведения жилого дома на Лейк Стор Драйв в Чикаго. При строительстве этих многоэтажных жилых зданий архитектор вернулся к выдвинутой им еще идее небоскреба из стекла. То, что тогда было мечтой, стало реальным зданием. Стекло и сталь - единственные материалы, сочетание которых он

применил для воплощения своего архитектурного замысла. Малое количество материалов придает большую выразительность и создает ясную архитектурную форму небоскреба, а основная идея Мисс ван дер Роэ «чем меньше, тем лучше» получила четкое выражение. Простота прослеживается и в решении планировки дома. Технические помещения и элементы, обеспечивающие вертикальные связи, «спрятаны» в центральном ядре, а вокруг него разместились жилые комнаты квартир. Строительство на Лейк Стор Драйв в Чикаго подало пример для большого числа высотных зданий. Таким образом, появилось много небоскребов, у которых плоскости фасадов закрыты стеклом. Мисс ван дер Роэ спроектировал и построил в Чикаго 16 небоскребов. А его идеи распространились на весь мир. Так, в Европе в 1960-е годы был возведен целый ряд высотных зданий с несущим каркасом и стеклянными фасадами.

В 1960-е годы у градостроителей возникли обоснованные опасения, что деловые районы города, состоящие из одних офисов, будут по вечерам и выходным становиться безлюдными, а в будние дни будут излишне перегружены. В ответ на эти опасения стали развивать многофункциональные высотные здания, одним из которых стало 179-метровое «Марина Сити» (рис. 1.15). Комплекс состоит из двух башен и был построен в 1962 году.

Во встроенном основании башен размещаются общественные помещения и лодочный причал на берегу. Парковочные места для 896 автомобилей разместили до 19-го этажа, а с 20-го по 60-й - жилые помещения и офисы. Архитектурной особенностью здания является их внешний вид, напоминающий початки кукурузы, что сильно контрастирует с современными небоскребами с геометрически чистыми формами. Это сделано не случайно, через полукруглые балконы в жилые комнаты поступает максимальное количество солнечного света. Основным несущим элементом является центральный стержень, внутри которого расположено техническое оборудование, лифты и пожарная лестница. Центральный стержень поглощает горизонтальные нагрузки. А дополнительные шестнадцать колонн вокруг стержня нужны для более равномерного распределения нагрузок.

В 1968 году в Чикаго был построен самый высокий жилой небоскреб в мире «Лэйк Пойнт Тауэр» (рис. 1.16). Высота здания с необычной формой составила 197 метров, оно расположилось на берегу озера Мичиган за пределами делового района.

Несмотря на полностью стеклянный фасад здания, жители могут быть спокойны за свою частную жизнь, так как фасад облицован светоотражающим стеклом. Обтекаемая форма поверхностей здания

существенно снижает воздействие ветра, что выгодно отличает трехлепестковую форму от привычных четырехугольных зданий.

Железобетонный центральный стержень тоже необычной треугольной формы. Внутри расположены лифты и лестницы. В то время архитекторы грезил мечтами о доме – городе, чтобы жильцы могли найти все необходимое не выходя из дома. Так, на нижних этажах и на крыше здания было размещено несколько зон отдыха, а вокруг здания разбита парковая зона. В самой высотке, кроме 900 квартир, размещаются офисы.



Рисунок 1.15 - Марина Сити



Рисунок 1.16 - Лэйк Пойнт Тауэр

Одно из самых высоких зданий Северного полушария построенное в 1974 году – «Сирс Тауэр» (рис. 1.17), находится в Чикаго. Высота здания составляет 442 метра, 108 этажей.

Форма здания, по мнению экспертов, напоминает современный асимметричный зиккурат. На фундамент здания опираются девять колонн, которые по мере набора высоты уходят в корпус, и только две из них достигают вершины здания. Базовым элементом конструкции является группа автономных труб (каждый модуль достигает длины 23 м с каждой стороны, а расстояние между колоннами равняется 4,5 м), которые идеально поглощают как вертикальные, так и горизонтальные нагрузки, возникающие вследствие давления ветра. Пирамидальность башни достигается за счет ограничения высоты отдельных секций. Все секции

поднимаются до 50-го этажа, после чего каркас здания начинает сужаться. Семь секций, расположенных по одной диагонали, поднимаются симметрично до 66-го этажа, пять колонн, расположенных крестообразно, поднимаются до 90-го этажа, и только две боковые секции достигают 108-го этажа. На них установлены две антенны.



Рисунок 1.17 - Сирс Тауэр

### **1.2.3. Высотные здания в некоторых крупных городах США**

Долгое время строительство высотных домов велось в двух городах: Чикаго и Нью-Йорке. В 1970-х годах стали происходить значительные перемены. Идеи функциональности, характерные для модерна, потеряли популярность, а проблемы экологии и сохранения окружающей среды вышли на передний план.

В соответствии с новыми идеями в 1972 году в Сан-Франциско строится крайне необычное здание «Трансамерика Пирамид» (рис. 1.18). Архитектор выбрал пирамидальную форму, чтобы небоскреб наглядно показывал экономическое могущество своих владельцев. Плодотворная почва постмодернистского архитектурного формализма дала жизнь этому и многим другим небоскребам.

Необходимо отметить, что жителям города высотное здание не понравилось. Оно казалось им слишком громоздким и выбивающимся из

общего стиля Сан-Франциско. Главная особенность города - его ландшафт с крутыми подъемами, эклектической архитектурой зданий и мостами через залив. На сегодняшний день здание «Трансамерика Пирамид» видно из любой точки города, и, несмотря на недовольство общественности, оно со временем получило статус городского символа. Этот небоскреб по-прежнему является наиболее привлекательным для туристов объектом города.

Так как небоскреб строился в районе сейсмической активности, он проектировался с учетом этих требований. Основание высотки образуют 20 скрепленных между собой равнобедренных тетраэдров, в свою очередь они соединены с фундаментом с помощью стальных балок, которые создают жесткую пространственную структуру. Две вытянутые конструкции, выходящие за плоскость фасада, несут в себе функции вертикальных связей, то есть в них расположились лифты и пожарные лестницы.

Самый высокий отель в США построен в городе Атланта. Его идеальная цилиндрическая форма благодаря зеркальному остеклению отражает окружающую застройку и создает интересные разноцветные блики, за которыми могут наблюдать жители города. Это здание - «Пичтри Плаза Отель» (рис. 1.19) высотой в 221 метр придает Атланте статус международного центра, который привлекателен для туристов со всего мира.



Рисунок 1.18 - Трансамерика Пирамид



Рисунок 1.19 - Пичтри Плаза Отель

Основным материалом несущих конструкций для небоскреба служит железобетон. Все здание держится на центральном стержне, в нем находятся лифты и лестницы. Бетонное основание небоскреба занимает большую площадь и резко контрастирует со стеклянной цилиндрической башней. В основании небоскреба размещаются конференц-залы, бары, магазины, а наверху находится вращающийся ресторан, откуда можно наслаждаться видами города.

### **1.3. История развития конструкций и конструктивных систем в странах Европы**

Страны Европы начинают строить высотные дома лишь в 1950-60-е годы. В послевоенные годы в Европе начался острейший жилищный кризис, вызванный разрушением городов. Чтобы решить проблему нехватки жилья, в Западной Европе начали строить высотные жилые дома. Как правило, в них проживали семьи с небольшим достатком. Этот факт разительно отличал высотное строительство в Европе от Америки, где первые высотки были офисного назначения. До конца 1990-х годов в Западной Европе высотные жилые дома составили большую часть от всех строящихся высотных зданий, их высота была не более 130 метров (30-35 этажей). После 1990-х передовые европейские страны - Франция, Германия, Англия - отказались от строительства жилых небоскребов по гигиеническим соображениям. В остальных странах Европы и мира их строительство успешно продолжается.

Жители Европы во все времена ценили свою историческую градостроительную цельность, поэтому высотное строительство в основном велось на окраинах городов, далеко от исторических центров.

В настоящее время интерес к высотному строительству в Европе преодолел состояние неприязни и перешел в категорию нормального инструмента градостроительного регулирования, в том числе в городах с уже сложившимся имиджем, в ситуациях, когда высотки логически оправданны. Основным материалом как несущих, так и не несущих конструкций практичные европейцы, для которых важнее всего экономическая целесообразность, выбрали железобетон или железобетон в сочетании с металлом. Это объясняется относительно небольшой высотой европейских небоскребов.

В 1960 в Милане был построен «Пирелли Билдинг» (рис. 1.20) - один из самых известных небоскребов Италии. Это здание похоже на огромный кристалл. Размеры здания в плане 70 на 18,5 метров. По торцам здания в двух треугольных пилонах располагаются лифты, лестницы и техническое оборудование. Эти треугольники являются ядрами жесткости, которые дополняют поперечные четыре стены-колонны. Для того чтобы избежать проблемы недостатка освещенности помещений, здание запроектировано

малой глубины. Тем самым достигнуто проникновение естественного света в каждое помещение этого здания.

В 1973 году построена «Монпарнасская Башня» (рис. 1.21). Небоскреб высотой 210 метров (58 этажей) резко изменяет общий силуэт центра Парижа и активно доминирует над исторически сложившейся изысканной застройкой левого берега Сены.



Рисунок 1.20 - Пирелли Билдинг



Рисунок 1.21 - Монпарнасская Башня

Основанием для офисной башенной части, которая имеет в плане овальную форму с усеченными краями размером 61 на 39 метров, служит трехэтажная платформа, предназначенная для магазинов, подземное пространство под которой используется под парковочные места. На крыше небоскреба расположены места для отдыха, откуда открывается прекрасный вид на исторический центр Парижа. «Монпарнасская Башня» имеет интересные конструктивные особенности, центральное железобетонное ядро размером 37 x 16 метров, окружают периферические пространства со своей независимой структурой из металлокаркаса. Конструкция структуры состоит из 26 металлических стоек с шагом 6 метров. Перекрытие периферической части также выполнено из металла с последующей его заливкой тонким слоем бетона.

Крупнейший коммерческий центр «Канари Уорф Тауэр» (рис. 1.22) построен в трех милях от центра Лондона, в районе Доклендза. Комплекс включает в себя три высотных здания: 50-этажная офисная башня с названием «Канада Сквер Один» высотой 236 метров, Торговый центр и Дом собраний. Также в комплекс входит железнодорожная станция, которая находится на втором этаже и соединяется с башней переходом. Станция со стеклянным куполом отличается от других зданий и по архитектуре напоминает лондонские вокзалы XIX века.

Комплекс строился с 1988 по 1991 годы. В Доме собраний и Торговом центре расположены рестораны, магазины, конференц-залы, выставочные помещения, а также общественные пространства. В комплексе все здания располагаются симметрично по отношению друг к другу. Самая высокая башня «Канада Сквер Один» имеет форму параллелепипеда со срезанными углами, и ее верх имеет завершение в виде пирамиды. Конструкции выполнены из стали, фундамент заглублен в землю на 20 метров.



Рисунок 1.22 - Канари Уорф Тауэр

В 1980-1990-е годы центром европейского высотного домостроения становится финансовая столица Западной Европы - Франкфурт-на-Майне. Франкфурт – город, облик которого не спутать ни с одним другим европейским городом. В нем уживается соседство небоскребов и Франкфуртского собора. В центре Франкфурта построены два высочайших в Европе здания: «Мессетурм» (рис. 1.23) высотой 257 метров и «Коммерцбанк Тауэр» (рис. 1.24) высотой 258.7 метра, а также здание «DZ Банка» (рис. 1.25) высотой 208 метров.

Небоскреб «Мессетурм» был построен в 1990 году и до 1997 года оставался самым высоким зданием Европы. Для небоскреба высотой 257 метров, состоящего из 55 эксплуатируемых этажей, предусмотрено 900 парковочных мест на подземной стоянке, а также развитое общественное пространство. Объем здания по вертикали имеет классическое деление на основание, среднюю вертикальную и верхнюю части. Четко прослеживается четырехугольная призма, которая пронизана цилиндром, завершающимся пирамидой высотой 36,3 метра. Контур цилиндра, видимый в верхней части башни, повторяется на всех уровнях здания, начиная со стеклянного атриума в основании железобетонных конструкций. Фасад выполнен в типичном для Франкфурта стиле с использованием стали, стекла и красного гранита.



Рисунок 1.23 - Мессетурм



Рисунок 1.24 - Коммерцбанк Тауэр

В 1993 году в центральной части города Франкфурта построен «DZ Банк». Его высота составляет 208 метров. Консольное пространственное завершение в виде короны высотной части башни, имеющей полуцилиндрическую форму с врезанной в нее четырехугольной призмой и более низкий объем, придают всему зданию оригинальность и неповторимость. В низкой части здания располагаются квартиры и машино-места, а в верхней - банковские офисы.

Конструктивная основа башни состоит из двойного кольца стальных труб, а низкое здание имеет простую каркасную структуру. Благодаря выбранной конструктивной системе фасады здания имеют двойные стены

и тройные окна, что позволило консервировать энергию в соответствии со строгими правилами, которыми на государственном уровне регулируются вопросы сохранения окружающей среды.

Достопримечательностью банковского квартала Франкфурта следует считать небоскреб «Коммерцбанк Тауэр». Это первый так называемый «экологический небоскреб». Внутри на всю высоту сооружения располагается треугольный атриум, перекрытый стеклянными навесами. В здании находятся офисные помещения, сады и рекреационные пространства. С 1997 года это было самое высокое здание в Европе, а в 2003 году этот титул перехватил «Триумф-Палас» в Москве. «Коммерцбанк Тауэр» 53-ех этажный небоскреб, высотой последнего этажа 189,6 метра, а отметка телеантенн - 258,7 метра. Этот небоскреб стал первым зданием в городе, в котором стальной каркас является основной несущей конструкцией. В основании здания находится атриум треугольной формы. Конструкция здания представляет собой каркас, состоящий из трех массивных колонн, находящихся в углах треугольника. Внутри колонн размещаются лифты, лестницы. К колоннам крепятся восемь офисных этажей, которые образуют один блок шириной 15 метров.



Рисунок 1.25 - DZ Банк

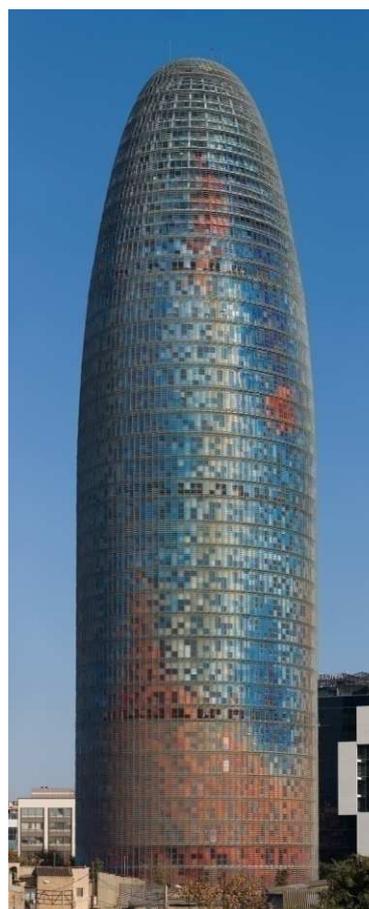


Рисунок 1.26 - Торре Агбар

Высота барселонской башни «Торре Агбар» (рис. 1.26) составляет 142 метра. По высоте «Торре Агбар» в несколько раз превосходит окружающие постройки и доминирует в городской среде. Здание состоит из двух овальных цилиндров - внешнего и внутреннего, расположенного с некоторым смещением относительно центра. Во внутреннем расположены лифты, лестницы, инженерные установки. Пространство между цилиндрами разделено на 31 этаж и занято офисными помещениями. Три этажа - технические.

Бетонный остов накрыт куполом из стекла и стали с использованием полированного алюминия, окрашенного в 40 различных цветов. Эту конструкцию опоясывает еще одна конструкция, выполненная из полупрозрачных стеклянных пластин, которые работают по принципу жалюзи. Полупрозрачные пластины защищают здание от ультрафиолетовых лучей.

Необычное здание, вдохновленное обитателем морских глубин - «стеклянной губкой», построено в деловом центре Лондона. Небоскреб швейцарской страховой компании Swiss Re Headquarters – «Мэри Экс» (рис. 1.27), построенный в 2004 году, является доминантой застройки.



Рисунок 1.27 - Мэри Экс

Конструкция небоскреба высотой 180 метров представляет собой сетчатую оболочку с центральным опорным основанием.

Аэродинамическая форма Мэри Экс максимально устойчива к ветровым нагрузкам, потоки воздуха не стекают вниз, а огибают небоскреб.

Сетчатая конструкция здания вдохновлена проектами русского инженера XIX века В.Г. Шухова. Диаметр здания неравномерный. В нижней части он составляет 49 метров, чтобы основание не занимало большую площадь, далее к 17 этажу он расширяется до 57 метров, а в верхней части вновь сужается. Из-за такой формы и зеленоватого оттенка стекла Мэри Экс прозвали «Огурец Фостера».

В настоящее время страны Европы продолжают строить высотные здания, и в свойственной себе манере считают наиболее важным строить небоскреб не максимальной высоты, а удачно вписывать его в застройку города.

#### **1.4. История развития конструкций и конструктивных систем в странах Азии, Австралии и Ближнего Востока**

Для стран Азии, Австралии и Ближнего Востока строительство высотных зданий очень серьезное имиджевое занятие. Устремляющиеся вверх, уникальные небоскребы должны символизировать стремительный рост экономики этих стран. Большинство исследователей сходятся во мнении, что именно страны Азии и Ближнего Востока будут задавать высотную планку и окажут значительное влияние на архитектуру небоскребов XXI века. Причиной тому стало невероятное сочетание скорости темпов экономического роста и желания политиков строить небоскребы как символ власти и могущества. Такое сочетание будет стимулировать этот высотный ажиотаж еще не один десяток лет. К тому же для некоторых азиатских стран высотное строительство - не прихоть, а необходимость, продиктованная дефицитом земли. Например, в Шанхае плотность населения - 19 тыс. человек на 1 км<sup>2</sup>, в Шеньчжэне - 17 тыс. человек на 1 км<sup>2</sup>, а в столице Тайваня – Тайбэй - 15 тыс. человек на 1 км<sup>2</sup>. На сегодняшний день эти регионы одни из самых густонаселенных на всей планете.

В 1986 году в Мельбурне (Австралия) построены «Башни Риалто» (рис. 1.28). Северная башня высотой 185 метров (43 этажа), а более высокая Южная башня достигает высоты 251 метр(63 этажа). В башнях размещаются офисные помещения, отель, трехэтажная подземная парковка. В основании высоток имеется огромный атриум, во внутреннее пространство которого выходят несколько этажей самого здания. В 1985 году эти железобетонные башни выдержали сильнейшее землетрясение и тем самым продемонстрировали свою сейсмическую устойчивость.

В 1985 году был построен 179- метровый небоскреб «Банк Гонконга и Шанхая» (рис. 1.29). Архитектор большое внимание уделил использованию продвинутых технологий и не постеснялся вывести их на фасад здания. Так фермы, перекрещивающие здание и облицованные серыми алюминиевыми и высокими двойными стеклянными панелями, являются наиболее заметными элементами двух главных фасадов. Это здание является одним из самых технологичных в мире, а также самым дорогостоящим.



Рисунок 1.28 - Башни Риалто



Рисунок 1.29 - Банк Гонконга и Шанхая

Конструкция здания уникальная. Она состоит из двух рядов массивных металлических пилонов, каждый из которых представляет собой комбинацию четырех колонн, расположенных вдоль коротких сторон четырехугольной в плане конструкции. Расстояние между ними составляет 16 метров, они соединены между собой посредством ферм шириной в 33,5 метра и высотой в два этажа, которые выглядят как подвесные мосты. Каркас здания состоит из пяти таких ферм, расположенных одна над другой. Фермы, открытые пространства, террасы и противопожарные убежища разделяют здание по вертикали на пять разновысоких секций. В нижнем уровне расположено общественное

пространство с эскалаторами, проходящими в небольшие отверстия в мембране, удерживающей кондиционированный воздух в здании. Работники попадают внутрь с помощью лифтов, размещенных между мачтами с противоположных сторон здания.

Два фасада выделяются инженерными системами вертикальных связей и своими стеклянными лифтами, из которых открываются великолепные виды. Размещение лифтов на фасадах привело к высвобождению центрального пространства и к более гибкой его организации. Самым необычным элементом в объемно-планировочной структуре здания является огромное пространство атриума высотой 52 метра. Пол атриума, выполненный из стекла, одновременно является потолком расположенного под ним открытого общественного пространства, соединенного с атриумом эскалатором, через который осуществляется доступ в здание. Потолок атриума облицован зеркалами, расположение которых регулируется компьютером таким образом, чтобы они отражали максимальное количество естественного света. Падающие через стеклянную крышу потоки света, отраженные этими зеркалами, заливают все огромное пространство, освещая также выходящие к нему внутренними окнами офисные этажи.

В 1990 году в Гонконге завершили строительство 72-этажного небоскреба «Банк Китая» (рис. 1.30).



Рисунок 1.30 - Банк Китая

Его высота вместе со шпилем составляет 367 метров, на уровне верхнего этажа – 288 метров и на уровне кровли - 305 метров. Это 70-ти этажное офисное здание, в нижней части которого находятся помещения Банка Китая. С точки зрения строительных конструкций и архитектуры небоскреб по-настоящему уникален. Построенный в форме огромного кристалла, Банк Китая перевернул традиционное представление о высотках, обычно имеющих форму четырехугольной призмы или пирамиды, и вдохновил множество архитекторов. Полигональная форма высоты образуется комплексом тетраэдров, увенчанных трехгранной призмой и двумя антеннами на крыше. Сооружение напоминает бамбуковый стебель, символизирующий рост и развитие цивилизации стран Восточной Азии.

Конструкции небоскреба «Банк Китая» представляют большой интерес. Они определяют не только план и фасад, но и решают все проблемы, вызываемые землетрясениями, сильными тропическими ветрами и значительной высотой самого здания. Конструкция держится на четырех огромных угловых пилонах, сделанных из бетона и стали. Диагональные балки связывают их таким образом, что внутреннее пространство оказывается свободным от элементов самой конструкции. Система квадратов, пересеченных по диагонали, образует гигантскую раму, отлично противостоящую давлению ветра и передающую горизонтальные нагрузки на крышу, а затем на четыре пилон. В верхней части небоскреба, где пересекаются две диагональные фермы, находится пятый центральный пилон. Связь между верхним каркасом с пятью пилонами и нижним каркасом с четырьмя пилонами осуществляется через пирамидальный модуль, снимающий нагрузки с центрального пилон и распределяющий их по четырем угловым пилонам.

В 1992 году в Гонконге построен небоскреб, который в течение долгого времени был самым высоким в Гонконге и являлся самым высоким железобетонным зданием в мире. «Сентрал Плаза» (рис. 1.31) – 78-ми этажный небоскреб, высотой 374 метра. Характерными чертами архитектурной выразительности служат треугольное основание, пирамидальная вершина и антенна высотой 60 метров.

План здания представлен двумя равносторонними треугольниками со срезанными углами. Во внутреннем ядровом треугольнике размещаются лифты, лестницы и техническое оборудование.

Железобетонный каркас отлично справляется со снятием как вертикальных статических нагрузок, так и горизонтальных, которые возникают в результате воздействия сильных ветров. Изначально проектировщики хотели использовать стальной каркас, но в связи с тем,

что железобетон дешевле стали, остановились на железобетонной конструкции, но с его применением пришлось ограничить высоту башни.



Рисунок 1.31 - Централ Плаза



Рисунок 1.32 - Международный финансовый центр

В 2003 году в Гонконге построен 407-метровый небоскреб «Международный финансовый центр» (рис. 1.32). Здание имеет 88 этажей. Высота от уровня земли до вершины - своеобразной короны из изогнутых шпилей, которой венчается здание, составляет 415,8 метра. Несмотря на гигантскую высоту, этот небоскреб является примером рафинированного архитектурного стиля, который объединяет четыре здания Финансового центра в единый ансамбль.

Тайфуны и землетрясения, для Гонконга - частые природные явления. Поэтому при проектировании гонконгских небоскребов уделяется большое внимание восприятию экстремальных боковых нагрузок. Проектировщики «Международного финансового центра» создали комбинацию массивного железобетонного ядра квадратного сечения с восьмью прямоугольными, сложными «мегаколоннами», выполненными из стали и бетона, и восьмью стальными колоннами меньшего размера.

В 1998 году был построен 420,5-метровый гигант (88 этажей) «Джин Мао Билдинг» (рис. 1.33). Небоскреб выполнен в соответствии с философскими принципами фэн-шуй. Согласно фэн-шуй число восемь и

его производные приносят удачу. Поэтому архитекторы предложили для башни авангардную конструкцию, состоящую из железобетонного стержня и 16 колонн (восемь стальных и восемь бетонных). В здании 88 этажей и т.д.

Все колонны, установленные по периметру здания, связаны с центральным ядром с помощью трех групп стальных консольных ферм высотой в два этажа, расположенных на 24-м, 51-м и на 87-м этажах. Фундамент толщиной 4 метра поддерживается уникальной конструкцией из 1062 стальных свай диаметром 1 метр, которые заглублены в землю на 80 метров.

Уровень верхнего этажа находится на высоте 366 метров и 420,5 метра до верхней точки декоративной 23-метровой конструкции, состоящей из «коньковой фермы», выполненной из нержавеющей стали, и шпиля. Конструкция небоскреба способна выдержать сейсмические толчки до 6 баллов и ветровые нагрузки, которые могут возникнуть при скорости ветра 200 км/ч. В «Джин Мао Билдинг» проявились черты традиционного китайского зодчества. В период завершения строительства он являлся самым высоким зданием, в котором размещены отельные номера. Внутри здания создан самый большой и самый высоко расположенный атриум в мире. Основание атриума располагается на уровне 56-го этажа и доходит до 88-го этажа. Высота атриума составляет 152 метра, а его диаметр – 27 метров.



Рисунок 1.33 - Джин Мао Билдинг



Рисунок 1.34 - Шанхайский  
Всемирный Финансовый Центр

В 2008 году рядом с «Башней Мао» построили еще один огромный небоскреб – «Шанхайский Всемирный Финансовый Центр» (рис. 1.34) высотой 492 метра (101 этаж).

Уникальной особенностью этого здания является отверстие трапециевидной формы расположенное в верхней части небоскреба. Его основной функцией является уменьшения воздействия ветровой нагрузки на башню, но дополнительно там разместилась она из высочайших смотровых площадок «Обсерватория-Мост» на высоте 474 метра. Шанхайский Всемирный Финансовый Центр - многофункциональное здание, в котором расположены офисы, занимающие 70 этажей, гостиницы, рестораны, торговые центры, а на верхних этажах - смотровые площадки.

Построенный в 2003 году «Томорроу Сквер» (рис. 1.35) выделяется своей экстравагантностью даже среди небоскребов Шанхая. Высота 285 метров. «Томорроу Сквер» это многофункциональное здание, в верхней части башни располагаются жилые помещения. Объемно-пространственная композиция представляет собой две четырехгранные

призмы с квадратным основанием. Верхняя секция башни имеет четырехскатную крышу. Каркас выполнен из железобетона, поэтому хорошо противостоит ветрам и землетрясениям. Фундамент заложен на глубину 76 метров.



Рисунок 1.35 - Томорроу Сквер

Лишь с 1968 года началось строительство высотных зданий в Японии. Это произошло из-за государственного запрета возводить здания выше императорского дворца, высота которого всего 31 метр. Япония - сейсмически активный регион, что сильно затрудняет строительство любых объектов, особенно небоскребов, а также значительно ограничивает высотность. В 1993 году в Японии построили одно из самым высоких зданий на острове. Им стал небоскреб «Лэндмарк Тауэр» (рис. 1.36), построенный в Иокогаме. Высота здания составляет 296,3 метра (70 этажей). Расположенные по углам четыре наклонные вертикальные плоскости создают сужающийся кверху параллелепипед. В образе здания, в его элементах просматриваются национальные черты японской архитектуры.

В Токио в 1991 году было построено «Здание Токийского Муниципалитета» (рис. 1.37). Оно состоит из двух основных зданий: 48-этажных башен-близнецов, каждая из которых имеет высоту 243 метра, и 33-этажного здания, которое соединяет эти две башни.



Рисунок 1.36 - Лэндмарк Тауэр



Рисунок 1.37 - Здание Токийского Муниципалитета

В 1998 году в Куала-Лумпуре (столице Малайзии) возвели две башни, которые составляют многофункциональный комплекс «Петронас Твин Тауэрс» (рис. 1.38) высотой в 451,4 метра вместе со шпилем, имеющих 88 этажей, 403 метра до уровня крыши и 375 метров - уровень расположения последнего жилого этажа. Высотные здания являются национальным символом Малайзии, так как в архитектуре комплекса использованы традиционные мотивы малазийского культового и дворцового зодчества.

Башни обретают форму из двух пересекающихся в плане квадратов, образующих восьмиконечную звезду. Из них вырастают цилиндры со множеством граней, которые на определенной высоте переходят в серию усеченных конусов, выходящих друг из друга. На конус башни сходятся в шесть этапов, при этом стены верхних уровней оказываются наклоненными к центру. У своего основания башни объединяются платформой, представляющей собой шестиэтажный торгово-развлекательный комплекс с центральным атриумом.

Небоскребы напоминают две взметнувшиеся вверх ракеты, соединенные между 41-м и 42-м этажами двухэтажным стеклянным мостом-переходом, расположенным на высоте 160 метров от земли. По этому переходу можно попасть из одной башни в другую, что дает возможность использовать эвакуационную систему соседней башни в качестве запасного пути эвакуации. Мост-переход достигает в длину 59 метров, в высоту 10 метров и весит около 825 тонн. Его равновесие обеспечивается двумя опорами, упирающимися в стойки на башнях на уровне 29-го этажа и отходящими от них под углом 63 градуса. Обе опоры соединяются посередине моста, в его слабой точке, на уровне 41-го этажа. С практической точки зрения мост является одним из важнейших компонентов конструкции, поскольку связывает обе башни, обеспечивая свободу передвижения внутри комплекса.

Конструкция каждой башни представляет собой кольцо из 16 колонн круглого сечения из железобетона высокой прочности, расположенных на внутренних углах фундамента в виде восьмиконечной звезды и образующих так называемую «нежесткую трубу». В уровне каждого этажа они соединены между собой кольцевыми бетонными дугообразными балками, воспринимающими изгибающий момент, с целью сформировать совершенную и независимую систему периметральной стены. Диаметр этих колонн, наклоненных к оси здания, составляет у его основания около 2,4 метра и уменьшается с высотой до 1,2 метра у вершины башни. Из-за собственной высокой жесткости железобетона центральное ядро и колонны соединены вместе лишь одним рядом выносных опор – бетонными фермами высотой в два этажа на уровне 38-го этажа. Тем самым раскрепленные центральное ядро и наружные колонны формируют «нежесткую трубу», которая высокоустойчива к поперечной силе, так что специальное демпфирующее устройство не требуется. Система фундамента башен состоит из закрепленных плит сплошного фундамента толщиной 4,5 метра, которые поддерживаются 208 массивными (3х1 метр в поперечном сечении) прямоугольными висячими сваями, уходящими в грунт на глубину от 40 до 105 метров. Из этих свай 85 расположены непосредственно под каждой башней, остальные – под окружающим башни стилобатом.

Здание венчают 73,5-метровые башенки. Эти башенки были достроены после того, как стало ясно, что новые здания уступают самому высокому на то время зданию в Чикаго на 65 метров. После того, как башни были надстроены, «Петронас Твин Тауэрс» стали самыми высокими, до тех пор, пока рекорд был не побит небоскребом «Тайпей – 101» (рис. 1.39). В Тайване в 2003 году в городе Тайпэй построено 101-этажное здание.



Рисунок 1.38 - Петронас Твин  
Тауэрс



Рисунок 1.39 - Тайпей – 101

Высота небоскреба составляет 507,77 метра. 101-й этаж расположен на высоте 439 метров. Сложность проекта заключается в том, что город расположен в сейсмической зоне, на месте тектонических разломов земной коры, где примерно раз в 10 лет происходят серьезные землетрясения. Этот же район знаменит тем, что он стоит на пути продвижения огромного числа тайфунов, зарождающихся в Южно-Китайском море. Тайваньские специалисты говорят, что небоскреб был возведен в неблагоприятном районе для того, чтобы доказать, что их сооружение не только самое высокое, но и самое надежное. Это офисное здание, лишь в нижней его части располагается торговый центр, а на верхнем уровне - обсерватория.

«Тайпей-101» состоит из восьми отчетливых ярусов, которые возвышаются над 25-этажной базовой частью. Архитектура башни напоминает гигантский стебель бамбука из стали и стекла. По высоте каждый ярус расширяется и заканчивается открытой площадкой. Такая форма в китайской культуре символизирует финансовое благополучие и вечную бодрость. Поскольку цифра 8 считается у китайцев особенно счастливой, каждый из восьми ярусов включает в себя восемь этажей. Фундамент здания представляет собой сплошную бетонную плиту

толщиной 5 метров. В ее основании использованы 380 бетонных свай из высокопрочного бетона диаметром 1,5 метра и глубиной 30 метров. Над фундаментом надстроены 36 опор из стали и бетона. Из 36 опор 12 являются угловыми и связующими, заканчивающимися на уровне 26-го этажа.

Проблема воздействия сильных ветров решена следующим образом. На самом верху небоскреба установлен 60-метровый шпиль. Его устойчивость обеспечивается двумя небольшими демпферами, смягчающими удары ветра на высоте более 500 метров. Накопленная демпферами энергия колебаний шпиля передается и гасится с помощью расположенной ниже системы пружин.

Самым сложным было найти решение для обеспечения сейсмостойкости небоскреба. Для невысоких зданий, строящихся в зонах повышенного риска землетрясений, конструкции рассчитывают таким образом, чтобы они могли изгибаться для поглощения сейсмической энергии. Для высоток подвижность всего здания крайне не желательна. Поэтому для гашения колебаний, возникающих под действием ветровых и сейсмических нагрузок, запроектировано применение специального демпфирующего устройства.

Демпфер представляет собой стальной шар весом 800 тонн, который закреплен между 92-м и 88-м этажами. Он играет роль гасителя инерции здания. При благоприятных условиях амплитуда колебаний этого шара, подвешенного на стропах из высокопрочных тросов, находится в пределах 100 мм. В случае катастрофической силы землетрясения или тайфуна, что бывает раз в сто лет, шар будет раскачиваться с амплитудой 1,5 метра и встретит кольцо буфера-ограничителя, который снабжен 8 дополнительными демпферами, именуемыми задержками. Два меньших по размеру виброгасителя высокой частоты весом 7 тонн располагаются внутри 20-метровой мачты для подавления ее колебаний. Инженеры-проектировщики отмечают, что подобная конструкция здания позволяет выдерживать до 2500 сейсмических колебаний в год.

Строительство высотных зданий на Ближнем Востоке в Объединенных Арабских Эмиратах началось значительно позже. Однако на сегодняшний день высотное строительство ОАЭ поражает своим размахом. Только в одном г. Дубае строится более 400 небоскребов и работает 20% мирового парка башенных кранов. Самые высокие здания, построенные здесь, являются в основном отелями.

Наиболее высокое здание «Бурдж аль Араб» (рис. 1.40.) - отель, построенный в 1999 году в Дубае. Башня имеет 60 этажей и высоту 321 метр.

Основная идея комплекса - это парус, в нижней части которого располагается корпус, изображающий морскую волну. «Волна» - это отель «Джумейра Бич». «Парус» - основная часть отеля, непосредственно «Бурдж аль-Араб». Волна имеет основание в виде треугольника высотой 26 этажей.

В центральной части здания расположен атриум высотой в 54 этажа, на который выходят апартаменты отеля. Пространство атриума богато декорировано, выглядит помпезно: каскады огромных лестниц, аркады, колонны, заостренные снизу и сверху. Даже плавательный бассейн с его колоннами, украшенными мозаикой и с эффектным освещением, выдержан в исламском стиле.

Для его строительства недалеко от берега на расстоянии 280 метров был создан искусственный остров, связанный с материком искусственной дамбой, по которой проложена дорога. Сваи загонялись в морское дно на глубину 40 метров. Остовом «паруса» является стальная конструкция, сформированная из трех пилонов, два из которых выгнуты в форме луков и соединены с третьим прямым пилоном. К данной конструкции крепится двойной щит с облицовкой из тефлона для защиты здания от палящего солнца. Днем поверхность выглядит ярко-белой, а ночью создает фон для постоянно меняющейся под управлением компьютера иллюминации.

На улице Шейха Зайеда в деловом центре Дубая находятся «Эмиратские башни-близнецы» (рис. 1.41). В облике этих зданий прослеживаются достижения в сфере современных технологий, геометрическая фигура треугольника (излюбленная фигура исламского искусства) подчеркивает национальный характер зданий. В этих башнях удачно сочетаются передовые технологии, футуристические образы, а также элементы, традиционные для местной архитектуры.

Башни в плане представляют собой правильные треугольники. Треугольную форму имеют стеклянные купола и своды, верхняя секция выполнена в виде неправильной трехгранной пирамиды. В главной башне, высотой 355 метров, которая является одной из высочайших башен Ближнего Востока, размещаются офисы, конференц-залы и бизнес-центр. В другой, более низкой (ее высота 309 метров) размещаются роскошный отель на 400 номеров. Внутри небоскреба создано атриумное пространство. Две башни расположены на террасированном основании, которое также состоит из треугольных фигур и окружностей.



Рисунок 1.40 - Бурдж аль Араб



Рисунок 1.41 - Эмиратские башни-близнецы

На сегодняшний день самым высоким зданием в мире является «Бурдж-Халифа» (рис. 1.42).

Башня Бурдж-Халифа - настоящий вертикальный город, где одновременно могут находиться около 35 тысяч человек. Проектируя это самое высокое здание в мире, инженерам пришлось решить многие проблемы, которые раньше были исключительно теоретическими. Бурдж-Халифа обладает очень прочным основанием, несмотря на то, что самое высокое здание в мире находится в пустынной местности, где горная порода довольно рыхлая. Учитывая особенности грунта, инженеры использовали висячие сваи длиной 45 метров и диаметром 1,5 метра. Всего их 200 штук, и они выдерживают вес башни равный примерно 0,5 млн тонн. Установить сваи было непросто, так как стенки шахт для них разрушались, как только извлекался бур. Чтобы этого не происходило, шахты для свай фундамента Бурдж-Халифа заполнялись уникальной полимерной смолой, которую впоследствии вытеснял заливаемый бетон.

Башня Бурдж-Халифа, несмотря на свою высоту, имеет очень устойчивую форму. Ее структуру называют «усиленным ядром». Это

означает, что самое высокое здание в мире состоит из нескольких скульптурных объемов, поддерживающих друг друга. При этом у каждого объема есть собственный каркас и дополнительные колонны. От ветровых нагрузок, которые являются самым главным врагом высотных зданий, башня также спасается за счет различных форм, составляющих ее скульптурные объемы. Благодаря им мощный ветровой поток разбивается на составляющие, не способные причинить серьезный урон. Общий дизайн Бурдж-Халифа вдохновлен геометрией цветка, растущего в дубайской пустыне, и традиционными для исламской архитектуры узорами.

При всей своей внушительности башня Бурдж-Халифа была построена в рекордно короткие сроки. Это стало возможным благодаря технологии заливки "прыгающих форм". Стальной каркас межэтажных перекрытий собирался на земле, затем поднимался на нужную высоту, помещался в специальную форму и уже там заливался бетоном. Когда бетон застывал, форма с помощью гидравлических приспособлений поднималась, а бетонный блок оставался на месте. Бетон доставлялся на нужную высоту с помощью специальных насосных систем. Из-за высоких температур заливка производилась исключительно ночью, а в раствор добавлялся лед.

Самое высокое здание в мире - настоящий центр инноваций. Все системы Бурдж-Халифа - электроснабжение, датчики вибрации, кондиционирование и др. - подключены к единому центру управления, откуда их работа постоянно контролируется и при необходимости корректируется. Кроме того, мощная система противопожарной безопасности дополнена девятью огнеубежищами, способными выдерживать огонь в течение 2 часов.

Внешние стены Бурдж-Халифа состоят из специальных двухслойных стеклянных панелей, позволяющих сохранять внутри комфортный микроклимат. Первый слой покрыт тонким слоем металла, он отражает тепловое излучение солнца. На второй слой нанесен слой серебра, защищающий от инфракрасных лучей.



Рисунок 1.42. - Бурдж-Халифа

В последние годы в г. Дубае активное строительство высотных отелей продолжается.

### **1.5. История развития конструкций и конструктивных систем в России**

Первыми высотными сооружениями в России стали церкви. В XVI веке была построена колокольня Ивана Великого при церкви Иоанна Лествичника, выполненная в византийских традициях. Во время правления Петра I, в 1724 году, завершилось строительство Собора Петра и Павла на Заячьем острове. Шпиль был неотъемлемой частью высотных зданий в России. Также к дореволюционным постройкам относятся колокольня Воскресенского собора в Шуе (106 м), храм Христа Спасителя в Москве (103 м), а также Исаакиевский собор в Санкт-Петербурге, высота которого составляет 101,5 м.

Позднее высотные здания были призваны символизировать нарастающую мощь социалистического строя. Таким образом, первые высотные здания в Европе стали возводиться именно в СССР. В 1947 г. был утвержден перспективный генеральный план развития Москвы. По этому плану в Москве намечалось возведение Дворца Советов и восьми

высотных зданий. Эти здания должны были восстановить традиционную русскую архитектуру. Новые высотки должны были стать доминантами, визуальными точками, обозначающими самые престижные градостроительные точки города.

Дворец Советов задумывался как самое грандиозное здание в мире. Его высота должна была достигать 415 метров. В основе замысла было создание гигантской ступенчатой башни, украшенной многочисленными скульптурами, поставленной на огромное основание, и установка на здании колоссальной статуи В.И. Ленина высотой в 100 метров. Но Великая Отечественная война нарушила планы, и в 1941 году строительство было приостановлено и больше не продолжалось. Однако работы над проектом не остановились. После окончания войны начался новый этап в реконструкции Москвы. В 1947 году была начата работа по проектированию и строительству первых восьми высотных зданий, из которых реализовано семь: 2 жилых, 1 административно-жилое, 1 административное, 2 гостиницы, 1 учебное.

Это время характерно для сталинского ампира, или, как его еще называют, - сталинского барокко. Наблюдается смешение многих стилей и направлений. Основной акцент при строительстве высотных зданий ставится на наличие декора, пышность оформления фасадов, решаются вопросы синтеза архитектуры, скульптуры и живописи.

Основным отличием от американской застройки, где небоскребы строились рядом с друг другом, образуя высотные кварталы, в Москве продолжили историческую традицию и возвели высотки на основных точках пересечения радиальных трасс, недалеко от Садового кольца. При размещении высоток использовался принцип закрепления основных узлов градостроительной структуры Москвы. По Садовому кольцу располагаются три высотных здания: 24-этажный жилой дом на площади Восстания, 27-этажное здание на Смоленской площади и административное здание с техническими этажами, достигающее 25 этажей, с жилыми корпусами - у Красных ворот. Эти здания, имеющие высоту от 130 до 170 метров, подчеркивают центр Москвы. Исключением стало только здание Университета, высотой 240 м, поставленное на одной из самых высоких точек города - на Воробьевых горах. Город получил целое кольцо высотных доминант, структурирующих застройку за пределами исторической части. Уступчатые силуэты зданий, так называемых «сталинских высоток», на долгие годы являлись достопримечательностью Москвы.

В настоящее время «Семь сестер», несмотря на критику, официально признаны памятниками архитектуры, а их силуэты несомненно украсили Москву.

На Воробьевых горах разместилось самое крупное из московских высоток - здание, а вернее, комплекс зданий «Московского Государственного Университета им. М. В. Ломоносова (МГУ)» (рис. 1.43). В 1953 году завершено строительство центральной части МГУ высотой 238 метров. Это сооружение оставалось самым высоким на континенте до 1990 года.

Университет занимает самую высокую географическую точку над Москвой-рекой. Монументальность здания прослеживается в каждом его элементе, включая башню со шпилем высотой 57 метров. Шпиль увенчан звездой, декорированной пшеничными колосьями. По бокам здание имеет два 18-этажных крыла, которые переходят в боковые 8-этажные пристрои. Тем самым создается ступенчатый переход к боковым крыльям, где размещены общежития студентов, аспирантов и квартиры преподавателей. Главное здание доминирует над всем комплексом. Водоемы, фонтаны, зеленые массивы, скульптура и архитектура сооружения составляют композиционное единство в этом живописном ансамбле архитектуры и природы.

Стеновые конструкции - сборный и монолитный железобетон, рамный стальной каркас, пустотелые керамические камни и кирпич. Облицовочные материалы - гранит, керамические плитки, каменное литье, металл, обработанный методом гальванопластики. Здание имеет сложный силуэт, его масса нарастает к центральной вертикали, подчиняя себе все окружающее пространство.

В 1953 году на Смоленской площади построено здание «Министерства иностранных дел» (рис. 1.44). Архитекторы отводили ему роль гигантского монумента при въезде в центр со стороны Бородинского моста. А вместе с двумя другими возвышающимися зданиями, здание МИД должно подчеркивать границы Садового кольца.

Здание МИД 27-ми этажное и высотой 170 метров. В его композиции прослеживается ярусное построение с убывающими кверху объемами, заканчивающимися шатром со шпилем. Здание имеет мощные вертикальные ребра, которые идут по всей высоте, что усиливает ощущение устремленности ввысь, подчеркивает главенствующее положение центральной части и придает всему сооружению пластическое богатство.

Во время проектирования дома на Кудринской площади (рис. 1.45) ставилась задача реконструировать площадь Восстания. Центральная часть здания имеет 22 этажа и высоту 125 метров, а боковые крылья - 18 этажей. Небоскреб венчает восьмигранная уступчивая башня с эмблемой. В этом доме поместились 452 квартиры, а на первом этаже - магазины и кинотеатр, в цокольном этаже - гаражи.



Рисунок 1.43- Московский государственный университет



Рисунок 1.44 - Министерство иностранных дел



Рисунок 1.45 - Дом на Кудринской площади

Еще одна жилая московская высотка - «жилой дом на Котельнической набережной» (рис. 1.46). Это одно из первых сданных в эксплуатацию высотных зданий, построенное в 1952 году. Здание имеет в плане форму растянутой буквы «М». В высокой центральной части здание насчитывает 22 этажа при общей высоте в 170 м. Всего здесь было запроектировано 631 квартира: 590 двухкомнатная и 41 трехкомнатная, 10 общежитий и 18 магазинов.

Центральный корпус обильно украшен обелисками, фигурными парапетами, которые удачно опоясывают три более низкие башни, а также имеются скульптурно-бутафорские композиции. Издали здание напоминает огромную корону.

При строительстве здания на Котельнической набережной в Москве в 1952 году впервые в мире была применена каркасно-ствольная конструктивная схема. Эта система обеспечивает передачу горизонтальных ветровых усилий от наружных стен через связевой каркас на коммуникационную шахту, которая служит пространственной диафрагмой жесткости, воспринимающей эти усилия. Лишь в 1958 году конструктор из Германии Хуберт Бек опубликовал расчеты, подтверждающие возможность передачи горизонтальных нагрузок с фасадных стен на расположенные в глубине здания диафрагмы жесткости.

В дальнейшем эта система стала наиболее часто применяемой в мировой практике высотного строительства. С ее применением после 1958 года были построены в Европе здания: «Пирелли Билдинг» высотой 127 метров в Милане (1958 г.), «Пост Хауз» высотой 177 метров в Лондоне (1960 г.), «Тур дю Миди» высотой 145 метров в Брюсселе (1966 г.).



Рисунок 1.46 - Жилой дом на Котельнической набережной

В 1953 году было построено высотное здание «Дом у Красных ворот» (рис. 1.47). Оно состоит из 18 этажей, общая высота здания 138 метров. Это комплекс административных и жилых корпусов, по своей структуре спроектированных как единый объем, имеющий в плане форму незамкнутого прямоугольника (форму буквы П). Высотная часть здания состоит из трех убывающих по высоте и сечению объемов. Центральный объем предназначался для Министерства транспортного строительства СССР, а боковые 8-этажные корпуса - для жилья. На каждом уступе архитектурные членения становятся все тоньше, а рельеф богаче и сложнее. Внутри каждого отдельного яруса имеются свои членения, которые подчеркивают общий пропорциональный строй всего здания. Завершается здание башней и шпилем с пятиконечной звездой.

Построенная в 1935 году станция метрополитена «Красные ворота» была включена в структуру здания. Поэтому при строительстве высотки сооружался и новый вестибюль станции. Но при строительстве станции обнаружился плавучий грунт. Чтобы плавучины не залили котлован станции метрополитена, было решено заморозить грунт мощными холодильными

установками и лишь после замораживания возводить здание. Проектировщики понимали, что после окончания строительства здания замороженный грунт оттаяет и построенная высотка накренится. Проведя расчеты, было решено намеренно накренить строящееся здание в противоположную сторону. Когда строительство было завершено, грунт оттаял, просел и здание приняло строго вертикальное положение. При строительстве высотных зданий этот прием ни до, ни после в мировой практике не применялся.

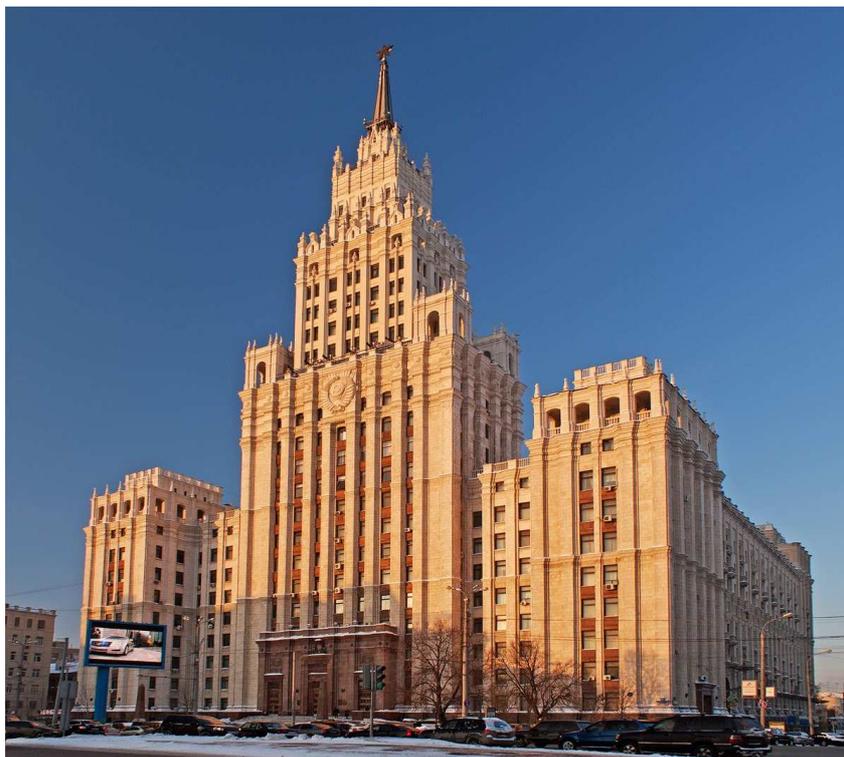


Рисунок 1.47 - Дом у Красных ворот

Здание гостиницы «Украина» (рис. 1.48) по замыслу архитекторов должно было стать вертикальным акцентом строящегося в то время Кутузовского проспекта. Оно имеет ярусный силуэт, продуманность пропорций главного фасада. Высотка имеет 29 этажей и 170 метров в высоту. В плане весь комплекс гостиницы представляет собой прямоугольник, в котором две длинные стороны заняты жилыми квартирами, одна короткая - это высотное здание гостиницы, а другая сторона прямоугольника широко раскрывает внутреннее пространство комплекса - озелененный двор. Здание пышно декорировано как на фасадах, так и внутри барельефами, вазами в виде снопов пшеницы, плоскими барельефами, объемными скульптурами и пр.

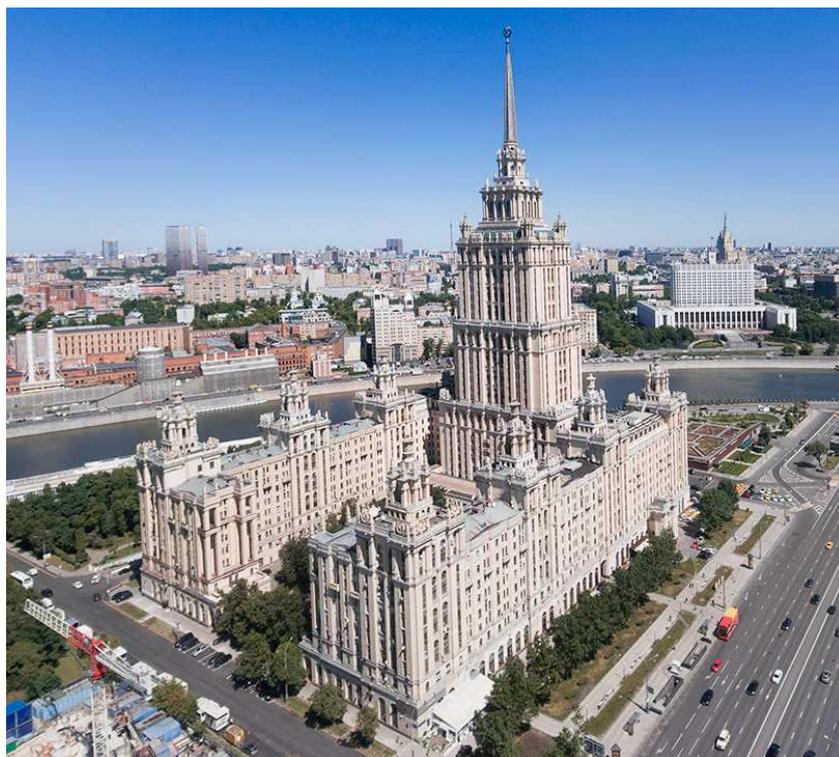


Рисунок 1.48 - Гостиница «Украина»



Рисунок 1.49 - Гостиница «Ленинградская»

Здание гостиницы «Ленинградская» (рис. 1.49) - одно из самых значительных произведений советской архитектуры 50-х годов. В эксплуатацию здание введено в 1952 году. Общий характер композиции

высотки - ступенчато-ярусная квадратная в плане башня высотой 132 метра. Нижние этажи, прямоугольные в проекции, составляют мощную базу этого здания. Башня ритмично переходит в восьмигранное завершение, которое венчается шатрообразным высоким шпилем. Пластика архитектурных деталей и форм по всему фасаду с применением барельефов, обелисков говорит о творческом использовании авторами национальных русских традиций московского зодчества XVI - XVII веков. Как в наружном, так и во внутреннем декоре использованы мотивы национальной архитектуры - стилизованные элементы русского барокко, тематический рельеф со святым Георгием Победоносцем в парадном вестибюле.

Введенный в эксплуатацию Проспекта Калинина (рис. 1.50) в Москве с южной стороны застроен комплексом четырех 26-этажных административных зданий, объединенных 850-метровым стилобатом с двумя надземными и двумя подземными этажами. Северная сторона проспекта сформирована пятью 24-этажными жилыми домами. После принятия в 1998 году принципиального решения о комплексном строительстве в Москве высотных зданий началась активная работа по поиску различных вариантов участков их расположения. В 1999 году в рамках программы «Новое кольцо Москвы» были определены несколько десятков зон, на которых возможно высотное строительство. Цель программы заключается в том, чтобы привлечь инвестиции в сферу жилищного строительства Москвы.



Рисунок 1.50 - Проспект Калинина

Проектирование и строительство высотных зданий столкнулось с отсутствием нормативной базы, регламентирующей требования к проектированию и строительству зданий высотой более 75 метров. Правительством Москвы была проделана большая работа по решению данной проблемы. В ней активное участие принимали научно-исследовательские и проектные институты Москвы. В результате были приняты МГСН 4.19-05 «Многофункциональные высотные здания и комплексы», носящие пока временный характер. Их положения будут уточняться на основании опыта реального строительства.

Одной из зон, выбранных под высотное строительство, является участок Московского международного делового центра (ММДЦ) «Москва-Сити». С 1990-х годов стало очевидно, что историческая часть столицы не справляется с нагрузкой административно-делового и культурного центра, поэтому возникла необходимость перевода большей части деловой функции в другой район. Реализация одного из самых амбициозных проектов столичного правительства началась в 1993 году. Данный проект дает городу возможность получить большое количество офисных площадей высокого класса, которых катастрофически недостает, также он позволяет создать новую транспортную систему, связывающую комплекс с периферией и аэропортами. После возведения «Башни-2000» и моста «Багратион» работы были приостановлены из-за нехватки средств (рис. 1.51).



Рисунок 1.51 - Башня 2000, Мост Багратион

В последнее время работы возобновились и идут полным ходом. Создаются подземные коммуникационные системы, реконструируется транспортная система. Началась прокладка новой линии метрополитена и новых коммуникаций. Участки ММДЦ на конкурсной основе предлагаются частным инвесторам. На сегодняшний день строительство ведется уже на большинстве участков этого грандиозного комплекса. Новый этап в застройке ММДЦ «Москва-Сити» начался в 2004 году, когда стали возводить первую из трех зданий башню «А», входящих в деловой комплекс «Башни на набережной» (рис. 1.52), высотой в 17 этажей (85 метров). Сдача в эксплуатацию всего комплекса, включая вторую 27-этажную башню «В» (127 метров) и третью - самую высокую 57-этажную башню «С» высотой 268 метров, состоялась в ноябре 2007 года. На тот момент данное сооружение являлось самым высоким в Европе. Оно представляет собой современный небоскреб с каркасной конструктивной системой, с несущими конструкциями, перекрытиями и лестницами из монолитного железобетона. Ограждающие конструкции выполняются с облицовкой алюминиевыми панелями по металлическому каркасу, используется безрамное остекление.

Среди разнообразных проектов, предложенных российскими и зарубежными архитекторами на территории ММДЦ «Москва-Сити», выделяется башня «Евразия» - офисный комплекс с апартаментами и общественно-коммерческими зонами (строительство 2005 - 2009 гг.), проект которого разработан американским бюро (рис. 1.53). Отмечают, что эта башня выделяется ясностью и логичностью объемно-пространственного решения.

Общая высота здания, вырастающего из 4-этажной стилобатной части, составляет 67 этажей (305 метров). Комплекс включает в себя общественные зоны, коммерческую зону, офисы, апартаменты, подземную автостоянку на более чем 1000 автомобилей.

Особый интерес представляет попытка скомбинировать офисные и жилые помещения, под которые отводятся верхние этажи. Так как для жилья существуют жесткие требования по инсоляции и освещенности, башня кверху сужается, приобретая уступчатый силуэт, что дает возможность уменьшить глубину помещений. Под нежилые помещения отведено 29 нижних этажей.

Строительство комплекса «Федерация» (рис. 1.54) началось в 2004 году и закончено только в 2017 г. Архитектурный проект разработан немецкими архитекторами, проектирование несущих конструкций выполнено американским проектным бюро. По замыслу авторов этот комплекс должен стать не только самым впечатляющим и престижным офисным зданием Москвы, а еще и самым высоким зданием Европы. Это

уникальное сооружение представляет собой конструкцию из двух трехгранных башен: башня «Запад» высотой 243 метра (62 этажей) и башня «Восток» - 374 метров (100 этажей), расположенных на стилобате. Для того чтобы туристы и желающие могли полюбоваться видами Москвы, в комплексе предусмотрены видовые площадки на различных уровнях башен, а на двух последних этажах расположатся рестораны с круговым обзором и смотровые площадки.



Рисунок 1.52 - Башни на набережной



Рисунок 1.53 - Башня «Евразия»

Основанием башни «Восток» является фундамент из буровых свай диаметром 1,5 м и длиной 30 м, а также монолитного плитного ростверка высотой 6 м. На заливку фундамента потратили 14 000 м<sup>3</sup> бетона, что зафиксировано в книге рекордов Гиннеса.

Основными несущими вертикальными элементами здания являются монолитные стеновые конструкции центрального ядра и 25 периметральных колонн. Поэтажно все вертикальные конструкции объединены горизонтальными дисками перекрытий из монолитных плит. Такая конструктивная схема решает две важные задачи: обеспечивает пространственную устойчивость и прочность конструкций высотного

здания, а также позволяет увеличить максимальное количество полезных эксплуатируемых площадей.

По всей высоте здания на уровне 33–34, 47–48, 61–62 этажей предусмотрены так называемые аутригерные этажи. Это этажи повышенной жёсткости, обеспечивающие расчётные параметры горизонтальных деформаций конструкций и устойчивости всего здания. Данные этажи, насыщенные монолитными железобетонными и металлическими конструкциями, технологически совмещены с техническими этажами, где размещаются инженерное оборудование и трассы трубопроводов, тем самым также сохраняют полезные площади типовых этажей.



Рисунок 1.54 - Башня «Федерация»



Рисунок 1.55 - Город Столиц

«Город Столиц» (рис. 1.55) - комплекс из двух высотных башен, построенный в 2011 году. Состоит из двух башен «Москва» (76 этажей) и «Санкт-Петербург» (69 этажей), высотой 302 м и 257 м соответственно. Небоскребы объединены 17-этажным стилобатом и таким же по высоте купольным зданием с атриумом. Стилибат занят офисами, в то время как в башнях более чем на половине площадей расположены жилые апартаменты.

Весь комплекс располагается на едином подиуме, состоящем из 6-уровневого подземного объёма и надземного 4-уровневого общественного пространства. В надземной части располагаются магазины, фитнес-центр, рестораны. Подземный паркинг «Города Столиц» - это самый вместительный паркинг в Москва-Сити, который обеспечивает машиноместами не только пользователей комплекса, но и удовлетворяет потребности соседних небоскрёбов. Строительство было начато в 2003 году, но вскоре было заморожено по причине изменения дизайн-проекта. Закончено в 2011 году.

Планировка апартаментов и офисов комплекса подразумевает панорамное остекление, что позволяет наилучшим образом использовать естественное солнечное освещение.

В 2011 году построен деловой комплекс «Империя» (рис. 1.56) - 59-этажный небоскрёб высотой 238,7 м, объединивший офисные помещения класса А, апартаменты и общественные пространства.

Деловой комплекс «Империя» представляет собой небоскрёб из монолитного железобетона. Офисные помещения класса А, расположенные на 4-41 этажах — апартаменты на 43-59 этажах. На –1 этаже расположен паркинг и торговая галерея, связывающая небоскрёб с соседними Городом Столиц и Центральным ядром ММДЦ, где в том числе находятся станции метро «Выставочная» и «Деловой центр». Также в башне находятся отели, фитнес-клубы, магазины и медицинские клиники. На 56 этаже расположен музей-смотровая «Москва-Сити».

Меркурий Сити Тауэр (рис. 1.57) - небоскрёб на участке № 14 Московского международного делового центра «Москва-Сити».

Отличительная особенность «Меркурия» - оранжевый цвет остекления. Строительство «Меркурия» велось в 2005-2013 годах. В 2012 году, ещё до завершения работ «Меркурий» с проектной высотой 338,8 метров (верхняя отметка конструкций 340,1 метр) стал самым высоким зданием Европы.

«Меркурий» должен был стать первым действительно «экологичным» зданием Москвы: здание было спроектировано с расчётом на освещение 75 % офисов естественным светом в дневное время, включало систему забора дождевой воды для последующего использования, а около 10 % материалов, использованных при строительстве, были произведены в радиусе 300 километров от строительной площадки. Для большей надёжности в здании были предусмотрены 2 независимых железобетонных каркаса, что сделало «Меркурий» устойчивым к землетрясениям силой до 6 баллов. На уровне

67-68 этажей здания был установлен медиафасад, собранный из 2 миллионов светодиодов.



Рисунок 1.56 - Деловой комплекс «Империя»



Рисунок 1.57 - Меркурий Сити Тауэр

Башня «Эволюция» (рис. 1.58) - башня в «Москве-Сити», расположенная на Пресненской набережной у пешеходного моста Багратион, выполнена в форме закрученного вокруг собственной оси 246-метрового 55-этажного небоскрёба, расположенного на трёхуровневом стилобате. На крыше стилобата расположена благоустроенная террасированная городская площадь, а пространство внутри отдано под торговую зону.

В списке самых высоких зданий в России по состоянию на 2019 год занимает 10-е место. Принадлежит государственной компании «Транснефть». Башня «Эволюция» была спроектирована компанией «Горпроект» (2011-2014), изначальная идея спиральной башни на этом участке была разработана шотландским бюро RMJM в 2005-2007 гг, тогда форма спирали стала проекцией символа «инь-янь», символизируя танцующую пару - жениха и невесту. У подножия башни по проекту

должен был располагаться Дворец бракосочетания, но от этой идеи впоследствии отказались.

В 2011 году после ребрендинга проекта башня получила название «Эволюция». Впоследствии планировочные решения были пересмотрены, башня выросла на 7 уровней и получила уникальное фасадное решение в виде холодногнутого остекления.

Каждый из верхнего 51 этажа самой башни повернут относительно предыдущего на 3 градуса, таким образом здание «закручено» более чем на 156 градусов. При этом центральное ядро и восемь колонн с 15-метровыми пролётами между осями остаются строго вертикальными всю высоту.



Рисунок 1.58 - Башня «Эволюция»

Спиралеобразную геометрию повторяют только четыре угловых опоры здания. Для проекта была спроектирована самоподъёмная система опалубки, объединившая в себе функции ветрозащиты и рабочей платформы. Благодаря этому удалось добиться возведения этажа за 6 дней. Верх башни увенчан двумя асимметричными «арками» пролётом 41 м, визуально объединяющими два противоположных фасада. В остеклении фасада применены однокамерные холодногнутое стеклопакеты с зеркальным стеклом. Непрерывная лента гнутого остекления с постоянным наклоном в углах башни (примерно 14 градусов к вертикали) создаёт

оптическую иллюзию, отражая панорамы Москвы перевернутыми под углом 90 градусов к горизонту.

Помимо строительства высотных зданий в деловом центре «Москва-Сити» в других районах Москвы возведены или строятся около 20 высотных зданий. Одним из таких зданий является 43-этажный «Эдельвейс» (рис. 1.59). Общая высота здания составляет 177 м. Высотная часть комплекса включает 39 жилых, 3 офисных и 3 технических этажа. Жилой комплекс является активной доминантой на въезде в Москву с западного направления.



Рисунок 1.59 - Эдельвейс



Рисунок 1.60 - Триумф Палас

Одним из самых высоких жилых зданий в Европе стал «Триумф Палас» (рис. 1.60), высота которого 264,1 м со шпилем. Жилой комплекс включает 962 квартиры разных типов, 6-уровневый подземный гараж на 1072 машиномест.

Также в строительстве высотных зданий отличалась северная столица город Санкт-Петербург.

Башня «Лидер» (рис. 1.61) - 42-этажный небоскрёб на юге Санкт-Петербурга. Высота здания составила 145,5 м. Первое здание в городе (и второе после Петербургской телебашни сооружение), которое стало выше городской доминанты — Петропавловского собора. Строительство

завершено в 2013 году. Главной особенностью башни является высокотехнологичный медиафасад. В светлое время суток поверхность фасада отражает небо и окружающие объекты, а в тёмное на медиафасаде включается видеоизображение, которое по специальной технологии может транслироваться на все четыре стороны башни одновременно.



Рисунок 1.61 - Башня «Лидер»



Рисунок 1.62 - Лахта Центр

В 2018 году самым северным небоскрёбом мира становится Лахта Центр, его высота составляет 462 метра (рис. 1.62). Основным его предназначением является размещение головного офиса компании Газпром. Здание расположенное в городе Санкт-Петербурге на берегу Балтийского моря, является самым высоким в Европе. Здание имеет закрученную конусообразную форму. Плиты перекрытий имеют форму 5 квадратных лепестков, соединенных между собой круглым центральным ядром. По мере увеличения высотной отметки квадратные «лепестки» вращаются вокруг своей оси против часовой стрелки. Кроме того, «лепестки» по высоте становятся меньше, а их центр смещается в сторону оси круглого ядра здания.

Возведение небоскреба осложнялось тем, что на строительной площадке Лахта Центра основание слагалось из глинистых грунтов невысокой несущей способности. В результате геологических изысканий на глубине 20 метров начинались твердые вендские глины, которые и используются в качестве несущего основания здания. Свайное основание Башни состоит из 264 буронабивных свай диаметром 2000 мм и длиной 55 и 65 метров, расположенных с шагом от 4 до 6 метров.

Основными несущими конструкциями Лахта-центра служат центральное железобетонное ядро и 10 периметральных сталежелезобетонных колонн. Для уменьшения нагрузок, воспринимаемых перекрытием, в здании были введены еще 5 сталежелезобетонных колонн до уровня 56-го этажа, что позволило уменьшить расчетные пролеты.

Конструктивная схема здания – каркасно-ствольная. Жесткость и устойчивость здания обеспечивается совместной работой ядра и 10 сталежелезобетонных колонн по периметру, соединенных между собой аутригерами, расположенными в уровне 17–18, 33–34, 49–50, 65–66 этажей. Все аутригерные этажи являются техническими. Роль верхнего аутригера здания выполняет распределительная плита над 80-м этажом. Центральное железобетонное ядро является основным элементом, обеспечивающим восприятие горизонтальных нагрузок. Однако в связи с тем, что отношение диаметра ядра к высоте здания составляет около 1/17, жесткости одного ядра оказалось недостаточно для выполнения требований норм по горизонтальному отклонению верха здания и предельному ускорению колебаний верхних этажей (комфортности пребывания). Введение аутригеров позволило уменьшить горизонтальные перемещения верха здания от действия ветровых нагрузок и обеспечить комфортность пребывания на верхних этажах постройки. Аутригеры запроектированы в виде железобетонных балок-стен, с инсталлированными в тело железобетона стальными фермами. В аутригерных балках применен бетон класса по прочности на сжатие В80. Стальные фермы рассчитаны на восприятие ветровых воздействий на период возведения здания, до включения в работу железобетонных аутригеров. Материал конструкций аутригерных ферм – сталь С390.

Центральное железобетонное ядро круглой формы является основным несущим конструктивным элементом башни. Ядро воспринимает вертикальные и горизонтальные нагрузки, в т.ч. постоянное кручение, вызываемое формой здания, и передает их на фундамент. Толщина наружных стен ядра на -3 и -2 этажах 2,5 м, на -1 и 1 этажах 2 м, на 2 и 3 этажах 1,7 м, на 4 и 5 этажах 1,4 м, на 6 и 7 этажах 1,1 м, с 8 по 67 этажи 0,8 м, с 68 по 80 этажи 0,6 м, с 81 по 89 этажи 0,4 м. Толщина наружных стен ядра определяется как условиями расчетов на все виды воздействий, так и требованиями конструирования (количество и расположение отверстий и проемов, кратность шагу арматурных сеток и т.д.). Наружный диаметр ядра с 8 по 58 этаж составляет 26.1 м; начиная с уровня 59 этажа до 80 этажа наружный диаметр ядра уменьшается до 21.0 м. В уровнях 17–18, 33–34, 49–50, 65–66 этажей к наружным стенам ядра крепятся аутригеры (по 10 штук на каждый уровень).

Перекрытия башни за пределами ядра выполнены из сталежелезобетона и представляют собой монолитное перекрытие по несъемной опалубке из профилированного листа с опиранием на металлические балки. Толщина плит перекрытий составляет 150 мм, для их изготовления применен бетон класса по прочности В40. Совместная работа железобетонных плит перекрытий с металлическими балками перекрытий обеспечивается за счет приварки к верхним поясам металлических балок гибких упоров.

Также высотное строительство ведется за пределами столиц. Самое высокое здание в Екатеринбурге – 54-этажный 188-метровый бизнес-центр «Высоцкий» (рис. 1.63). Построенный рядом с центром, современный небоскреб включает разные по функциональному назначению помещения – офисы, конференц-залы, гостиничные номера, 8-уровневую крытую парковку. На 51 -м этаже размещен ресторан с панорамным видом на город.

Самый высокий жилой дом на Урале построен в Екатеринбурге - Башня «Исеть» (рис. 1.64). Монолитный 42-этажный дом возведен с применением прогрессивных конструктивных и инженерных решений. Здание оснащено скоростными лифтами, системой приточной вентиляции, фильтрами дополнительной очистки воды.



Рисунок 1.63 - Высоцкий



Рисунок 1.64 - Башня «Исеть»

Развитие высотного строительства в России определяется не только высокой стоимостью земельных участков в крупнейших мегаполисах, но и желанием освоения новых прогрессивных конструктивных и инженерных решений, улучшением архитектурных качеств застройки, повышением уровня комфорта проживания, охраны окружающей среды.

## **Выводы по главе I**

Для зданий до 1891 года характерна перекрестно-стенная конструктивная схема, а основным материалом несущих конструкций являлся кирпич. Бесперспективность использования кирпичных стен в качестве несущей конструкции высотных домов показал «Монаднок Билдинг», толщина стен его первого этажа достигла 2 – 4 метров.

С 1891 года начинается новый этап развития высотного строительства. Осуществляется переход на каркасную конструктивную систему, а основным материалом несущих элементов становится стальной прокат. Стойки и балки соединяются между собой так, что каркас, от фундамента до крыши образует законченную и жесткую несущую конструкцию.

Впервые стальная каркасная система была применена в 1885 году в здании «Хоум Иншуренс Билдинг» в Чикаго. Строительство этого здания создало условия для блестящего развития архитектуры высотных зданий «Чикагской школы», так как:

1. Внутреннее пространство освободилось от массивных кирпичных стен.
2. Использовать стальной прокат оказалось значительно дешевле.
3. Каркасная конструкция (совместно с применением лифтов) открыла перспективу для увеличения этажности зданий.

С 1913 года активность высотного домостроения перемещается в Нью-Йорк. Архитектурно-строительной сенсацией стал «Вулворт Билдинг» высотой 241 м (59 этажей). Именно с возведением этого здания появилось слово «небоскреб».

Новый тип небоскребов возник вследствие введения в 1916 году закона, регламентирующего соотношение высоты здания и ширины прилегающих улиц. Такие небоскребы представляют собой высотные структуры, состоящие из трех отчетливых уровней со значительно выступающими пиками. В последующий период строительства, в той или иной степени ступенчатость присутствовала почти во всех высотных домах.

Первым жилым высотным домом является «Ритц Тауэр» высотой 165 м (41 этаж) с квартирами класса «люкс», который был построен в 1925 году.

После Второй мировой войны в течение пяти лет нигде в мире высотных зданий не возводилось.

Следующим историческим этапом стало строительство зданий на стилобатах. Произошло это по причине принятия в 1961 году законов, регламентирующих организацию общественных зон. Так в стилобатах стали размещаться зоны публичного пользования. В них могли быть атриумы, торговые площади, зоны отдыха и др.

Ярким примером является «Ситикорп Центр», построенный в 1977 году. Основание, стоящее на четырех огромных колоннах, расположенных посередине каждой стороны, образует открытое общественное пространство высотой 30,5 метра. Этот конструктивный прием впоследствии стал примером для подражания. Внутри пространства, под корпусом башни, возведено несколько сооружений, включая новую церковь Св. Петра и вестибюль станции метро.

Длительное время высотное строительство не выходило за пределы Чикаго и Нью-Йорка. В начале 1970-х годов в архитектуре стали происходить значительные перемены в связи с тем, что модернистские идеи функциональности стали терять свою привлекательность. На первое место стали выходить проблемы экологии, сохранения окружающей среды. В идеологию архитектуры стали внедряться формалистические принципы других искусств.

На этой волне в 1972 году в Сан-Франциско появляется экспериментальное для своего времени здание «Трансамерика Пирамид». Расположенная в районе сейсмической активности башня проектировалась с учетом этих требований: ее основание образуют двадцать сцепленных равнобедренных тетраэдров, соединенных с фундаментом посредством стальных балок, создающих жесткую пространственную структуру.

Город Атланта гордится своим самым высоким отелем в Соединенных Штатах Америки «Пичтри Плаза» высотой в 221 метр. Отель построен из железобетона. Здание имеет сердцевину, на которой держится все здание и располагаются лифты, лестницы.

Строительство высотных зданий в городах Америки активно продолжается. Многочисленные небоскребы поражают своим разнообразием, необычной формой, новаторством архитектурных решений.

Европа включается в процесс высотного домостроения лишь в 1950-1960-е годы.

Основное отличие высотного строительства в Европе от Америки заключается в том, что первые небоскребы в Западной Европе появились как жилые дома для семей с небольшим достатком, так как в послевоенные годы из-за разрушения городов возник жилищный кризис. Этажность таких зданий 30-35 этажей, а высота 130 метров. До конца 90-х годов в Западной Европе жилые дома составляли значительную часть от всех строящихся высотных зданий.

Европейская концепция высотного домостроения основывается не столько на стремлении построить самый высокий небоскреб, сколько на учете градостроительных факторов, таких как историческая застройка. Основным материалом несущих конструкций является железобетон или железобетон в сочетании с металлом. Это объясняется относительно небольшой высотой европейских небоскребов и их экономической целесообразностью.

На данный момент возведение жилых высотных зданий во Франции, Германии, Англии прекращено по гигиеническим соображениям. В остальных странах Европы и мира оно успешно продолжается.

В Азии и в странах Ближнего Востока строительство высотных зданий начинается значительно позже, чем в Америке и Европе. Но исследователи утверждают, что именно Азия окажется фаворитом высотного строительства в XXI веке, а причиной тому быстрый экономический рост этих стран и желание политиков соревноваться за титул самого высокого небоскреба в мире. Также для некоторых стран высотное строительство - необходимость, которая продиктована дефицитом земли.

Основным отличием высотного строительства в Азии от других мест являются уникальные конструктивные особенности, которые созданы для того чтобы противостоять суровым климатическим условиям.

Так, например, в Гонконге тайфуны и землетрясения - довольно частые явления. При проектировании небоскреба «Международный финансовый центр» было уделено особое внимание потенциальным экстремальным боковым нагрузкам. Для их восприятия проектировщики создали комбинацию массивного железобетонного ядра квадратного сечения с восемью прямоугольными сложными «мегаколоннами», выполненными из стали и бетона, и восемью стальными колоннами гораздо меньшего размера.

В Тайване, где примерно раз в 10 лет происходят серьезные землетрясения, в 2003 году построено 101-этажное здание «Тайпей-101», которое стоит на пути продвижения тайфунов, зарождающихся в Южно-Китайском море. Небоскреб был возведен в неблагоприятном районе для того чтобы доказать, что он не только высокий (507,77 метра), но и самый надежный.

Для гашения колебаний, возникающих под действием ветровых и сейсмических нагрузок, проектом предусмотрено применение специального демпфирующего устройства. Демпфер представляет собой стальной шар весом 800 тонн, который закреплен между 92-м и 88-м этажами. При благоприятных условиях амплитуда колебаний этого шара, подвешенного на стропах из высокопрочных тросов, находится в пределах 100 мм. В случае катастрофической силы землетрясения или тайфуна шар будет раскачиваться с амплитудой 1,5 метра и встретит кольцо буфера-ограничителя, который снабжен 8 дополнительными демпферами, именуемыми задержками. А для подавления колебаний 20-метровой мачты внутри нее размещаются два виброгасителя высокой частоты весом 7 тонн.

Строительство высотных зданий на Ближнем Востоке в Объединенных Арабских Эмиратах поражает своим размахом, только в одном г. Дубае строится более 400 небоскребов. Самые высокие здания, построенные здесь, являются в основном отелями.

Для строительства отеля «Бурдж аль Араб» в 1999 году недалеко от берега на расстоянии 280 метров был создан искусственный остров, связанный с материком искусственной дамбой, по которой проложена дорога. Сваи загонялись в морское дно на глубину 40 метров. А для защиты здания от палящего солнца ограждающая конструкция здания состоит из двойного щита с облицовкой из тефлона.

В г. Дубай построено самое высокое здание в мире «Бурдж-Халифа» 829,8 м. Башня находится в пустынной местности, где горная порода довольно рыхлая, стенки шахт для свай разрушались, как только извлекался бур. Учитывая это, инженеры использовали 200 висячих свай длиной 45 метров и диаметром 1,5 метра. Шахты для свай заполнялись уникальной полимерной смолой, которую впоследствии вытеснял заливаемый бетон. От ветровых нагрузок, которые являются самым главным врагом высотных зданий, башня спасается за счет различных форм составляющих ее скульптурных объемов. Благодаря им мощный ветровой поток разбивается на составляющие, не способные причинить серьезный урон. Внешние стены состоят из специальных двухслойных стеклянных панелей, позволяющих сохранять внутри комфортный микроклимат. Первый слой покрыт тонким слоем металла, он отражает

тепловое излучение солнца. На второй слой нанесен слой серебра, защищающий от инфракрасных лучей.

В последние годы в Азии и в странах Ближнего Востока активное строительство высотных зданий продолжается.

В России на первом этапе высотное строительство носило культовый характер и началось с церкви. Первые высотные здания в Европе стали возводиться в СССР, их строительство должно было символизировать нарастающую мощь социалистического строя. В 1947 г. был утвержден перспективный генеральный план развития Москвы. По этому плану в Москве намечалось возведение Дворца Советов и восьми высотных зданий. Великая Отечественная война нарушила планы. Однако после окончания войны семь высотных зданий были построены.

В отличие от США, где здания составляли высотные кварталы, в Москве решили продолжить историческую традицию и поставить высотки на ключевых точках основных радиальных трасс, поблизости от Садового кольца. Принцип размещения высотных зданий таков, что эти сооружения закрепляют основные узлы градостроительной структуры.

Самое крупное из московских высоток - здание «Московского Государственного Университета» на Воробьевых горах. Построено 1953 году высотой 238 метров. Это сооружение оставалось самым высоким на континенте до 1990 года.

Стеновые конструкции - сборный и монолитный железобетон, рамный стальной каркас, пустотелые керамические камни и кирпич. Облицовочные материалы - гранит, керамические плитки, каменное литье, металл, обработанный методом гальванопластики. Здания имеют сложный силуэт, их масса нарастает к центральной вертикали, подчиняя себе все окружающее пространство.

При строительстве здания на Котельнической набережной в Москве в 1952 году впервые в мире была применена каркасно-ствольная конструктивная схема. Эта система обеспечивает передачу горизонтальных ветровых усилий от наружных стен через связевой каркас на коммуникационную шахту, которая служит пространственной диафрагмой жесткости, воспринимающей эти усилия. В дальнейшем эта система стала наиболее часто применяемой в мировой практике высотного строительства.

Проектирование и строительство высотных зданий столкнулось с отсутствием нормативной базы, регламентирующей требования к зданиям высотой более 75 метров. В результате работы научно-исследовательских

и проектных институтов, а также правительства Москвы были приняты МГСН 4.19-05 «Многофункциональные высотные здания и комплексы».

С 1990-х годов стало очевидно, что историческая часть столицы не справляется с нагрузкой административно-делового и культурного центра, поэтому возникла необходимость перевода большей части деловой функции в другой район.

Одной из зон, выбранных под высотное строительство, является участок Московского международного делового центра (ММДЦ) «Москва-Сити». Застройка представляет собой комплекс современных небоскребов с каркасной конструктивной системой, с несущими конструкциями и перекрытиями из монолитного железобетона.

Строительство самого высокого комплекса «Федерация» закончено в 2017 г. Это уникальное сооружение представляет собой конструкцию из двух трехгранных башен: башня «Запад» высотой 243 метра (62 этажей) и башня «Восток» - 374 метров (100 этажей), расположенных на стилобате.

Помимо строительства высотных зданий в «Москва-Сити» в других районах Москвы, в Санкт-Петербурге, Екатеринбурге, Волгограде возведены высотные здания разного назначения и разных форм. Самым высоким жилым домом является «Триумф Палас», высота которого 264,1 м.

Также в строительстве высотных зданий отличалась северная столица город Санкт-Петербург. Самым северным небоскрёбом в мире стал Лахта Центр высотой 462 метра, которая также является самым высоким в Европе. Конструктивная схема здания – каркасно-ствольная. Жесткость и устойчивость здания обеспечивается совместной работой ядра и 10 сталежелезобетонных колонн по периметру, соединенных между собой аутригерами.

Развитие высотного строительства в России определяется не только высокой стоимостью земельных участков в крупнейших мегаполисах, но и желанием освоения новых прогрессивных конструктивных и инженерных решений, улучшением архитектурных качеств застройки, повышением уровня комфорта проживания, охраны окружающей среды.

## ГЛАВА II. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКТИВНЫХ СИСТЕМ СОВРЕМЕННЫХ ЖИЛЫХ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

В современном высотном строительстве применяют различные варианты компоновок конструктивных систем. При этом, несмотря на значительный мировой опыт строительства, не выработаны единые правила выбора конструктивных решений, ограждающих конструкций и материалов. Отсутствует не только международная систематизация конструктивных схем высотных зданий, но она не разработана и в отдельно взятых странах.

Из анализа конструктивных схем высотных зданий можно предположить, что все конструктивные системы можно разделить на три категории: стеновые, каркасные, смешанные (каркасно-стеновые). Каркасные системы можно разделить на рамно-каркасные, каркасные с диафрагмами жесткости, каркасно-ствольные, каркасно-оболочковые. Стеновые системы можно разделить на схемы с параллельными стенами, с перекрестными стенами и коробчатые (оболочковые). Смешанные системы включают в себя отдельные признаки разных систем; к ним можно отнести каркасно-ствольные, каркасно-оболочковые и коробчато-ствольные.

Большинство высотных зданий в настоящий момент строится по каркасным или смешанным системам. Здания высотой более 250 м часто выполняют с применением ствольной (ядровой) конструктивной системы: «труба в трубе» и «труба в ферме». Эта конструктивная схема состоит из центрального ствола (ядро жесткости), который принимает на себя основную долю нагрузок, и периметральных несущих элементов: отдельных колонн, решетчатых систем (ферм, составных стержней и др.), пилонов, которые можно объединить в единую конструкцию. Жесткость, устойчивость и надежность такой системы обеспечиваются заделкой центрального ствола в фундамент.

Если жесткости простой конструктивной системы недостаточно, применяют комбинированную систему. Например, при комбинации ствольной и стеновой систем горизонтальные нагрузки передаются с внешней оболочки и на центральный ствол (ядро жесткости), и на внутренние несущие стены. Комбинированная конструктивная система позволяет распределять доли воспринимаемых усилий на различные конструкции за счет варьирования жесткости несущих элементов остова.

Тем не менее как для высотных, так и для обычных зданий основные несущие элементы и конструкции решаются исходя из одних и тех же принципов: все они образуют прочный, жесткий и устойчивый остов здания. Основные несущие элементы делятся на три группы.

Линейные элементы:

- колонны и балки (воспринимают осевые и изгибающие усилия).

Плоские элементы:

- стены сплошные (с проемами) или решетчатые (воспринимают осевые и изгибающие усилия);

- плиты сплошные или ребристые, поддерживаемые каркасом (воспринимают нагрузки в плоскости, перпендикулярной плите).

Пространственные элементы:

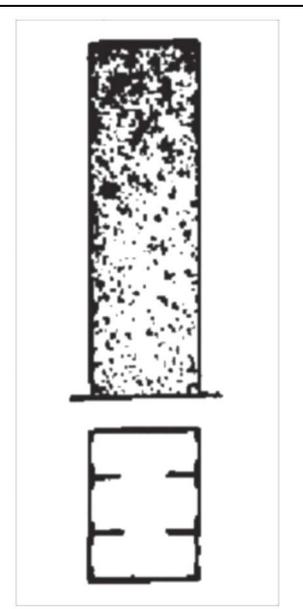
- стволы (ядра жесткости) и контурные оболочки, объединяющие конструкции здания для обеспечения их работы как единого целого.

Комбинации этих основных элементов образуют конструктивную схему здания. Количество их возможных сочетаний в конструктивных схемах неограниченно.

#### Конструктивные системы здания

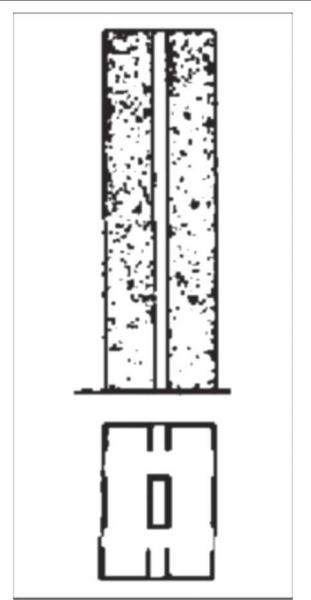
##### 1. Бескаркасная с параллельными несущими стенами

Эта система состоит из плоских вертикальных элементов, которые пригружены собственным весом и поэтому способны эффективно воспринимать горизонтальные воздействия. Система параллельных стен широко применяется для жилых зданий, которые не требуют устройства больших свободных объемов и в которых нет необходимости устраивать специальные стволы жесткости для систем инженерного оборудования



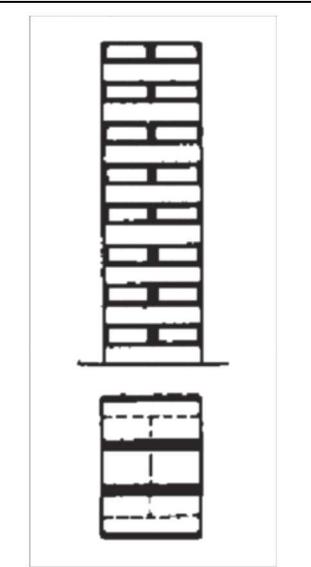
## 2. Ствольная с наружными стенами-диафрагмами

Плоские вертикальные элементы образуют наружные стены ствола здания. Это позволяет устраивать открытые внутренние объемы, величина которых зависит от пролетов, перекрываемых плитами перекрытий. В стволах размещаются системы инженерного оборудования и вертикального транспорта, а сами стволы повышают жесткость здания



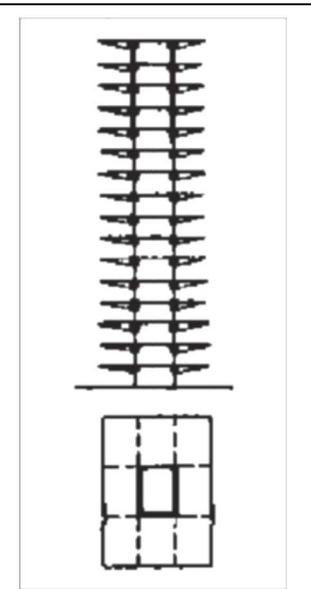
## 3. Коробчатая (объемно-блочная)

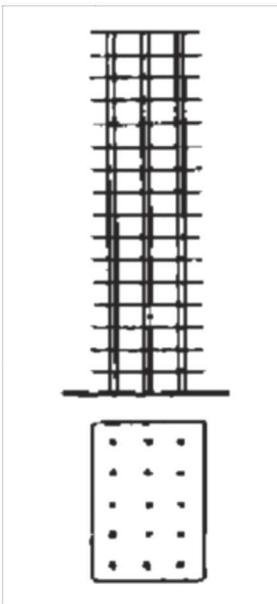
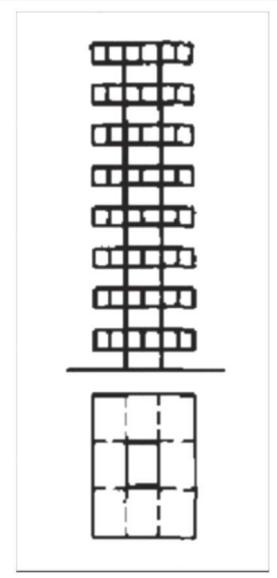
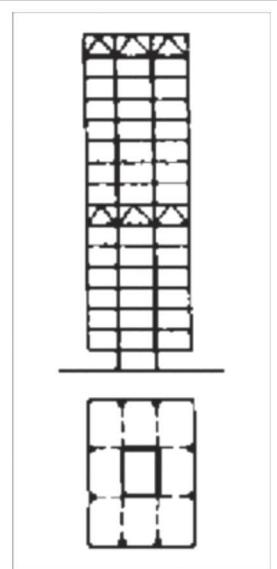
Здания объемно-блочной (коробчатой) схемы образуются из трехмерных блоков высотой на этаж, которые напоминают здания с несущими стенами, когда они смонтированы и соединены друг с другом. На рисунке показана система, в которой блоки собираются как кирпичи в кладке, в результате чего имеем перекрестную систему несущих стен-балок

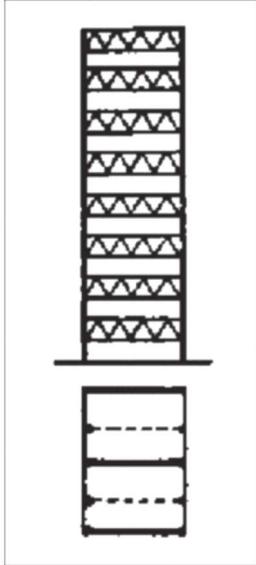


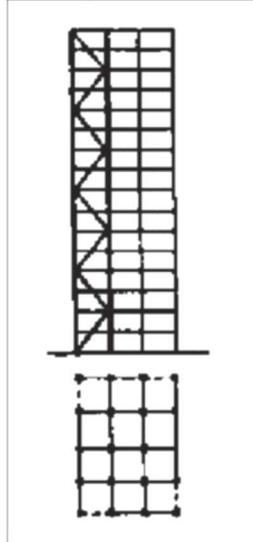
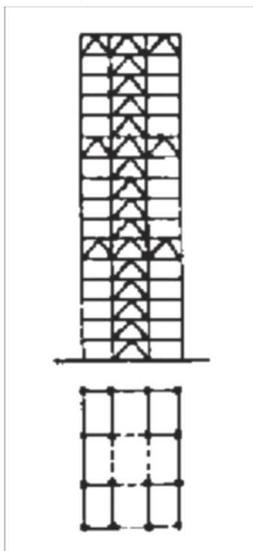
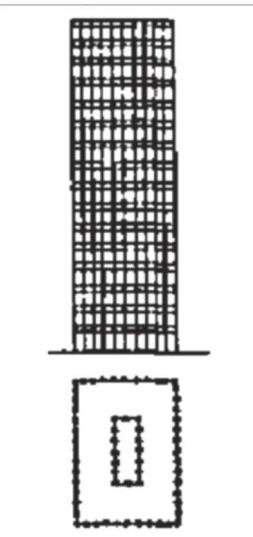
## 4. С консольными перекрытиями в уровне каждого этажа

ОпираНИЕ системы перекрытий на центральный ствол жесткости допускает создание свободного от колонн пространства. При этом размеры здания ограничены несущей способностью плит. Такое решение требует применения сталей с высокими механическими характеристиками, особенно при больших вылетах плит перекрытий. Жесткость плит может быть увеличена с помощью предварительного напряжения



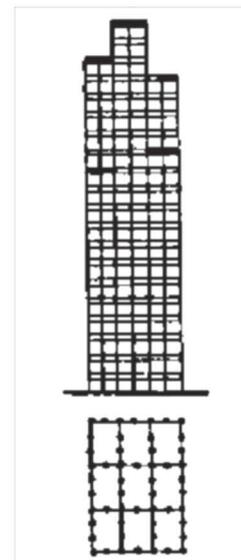
<p>5. Каркасная с безбалочными плитами перекрытия</p> <p>Обычно такая горизонтальная плоская конструкция состоит из железобетонных панелей одинаковой толщины, опирающихся на колонны. При любом решении система не имеет высоких балок и таким образом допускает минимальную высоту этажа</p>	
<p>6. С консолями высотой на этаж в уровне каждого второго этажа</p> <p>Консольные решетчатые конструкции высотой на этаж устраиваются через один этаж. Пространство внутри решетчатых конструкций этажа обычно используется для определенных (с фиксированным оборудованием) операций, а полностью свободное пространство между решетчатыми конструкциями может быть предназначено для любых видов деятельности</p>	
<p>7. С подвешенными этажами</p> <p>Такая система предполагает эффективное использование материала при применении вместо колонн подвесок, воспринимающих нагрузки от перекрытий. Несущая способность сжатых элементов обычно снижается в связи с продольной устойчивостью, в то время как несущая способность растянутых элементов используется полностью. Подвески передают вертикальную нагрузку на консольные оголовки, установленные на центральном жестком стволе</p>	

<p>8. С фермами высотой на этаж, расположенными в шахматном порядке</p> <p>Фермы высотой на этаж размещаются таким образом, что каждое перекрытие здания опирается на верхний пояс одной фермы и нижний пояс следующей фермы. Кроме восприятия вертикальных нагрузок такая компоновка ферм снижает до минимума требования к системе горизонтальных связей, так как ветровые нагрузки передаются полками ферм и плитами перекрытий</p>	
<p>9. Рамно-каркасная</p> <p>Жесткие узлы сопряжения линейных элементов позволяют создать вертикальные и горизонтальные диски жесткости. Вертикальные диски образуются колоннами и ригелями в основном с прямоугольной сеткой (жесткими рамами). Аналогичная сетка продольных и поперечных ригелей создает горизонтальные диски. Важнейшими факторами для создания пространственной жесткости остова здания являются высота этажа и шаг колонн. Пространственная жесткость зависит от несущей способности и жесткости отдельных колонн, ригелей и узлов стыков</p>	
<p>10. Каркасно-ствольная (ядровая)</p> <p>Жесткая рама воспринимает горизонтальные нагрузки при работе ее элементов преимущественно на изгиб. Такая схема деформирования приводит к большим горизонтальным перемещениям зданий определенной высоты. Однако введением ствола жесткости можно существенно увеличить боковую жесткость здания за счет взаимодействия рамного каркаса со стволом. В стволах размещают системы инженерного оборудования и вертикального транспорта</p>	

<p>11. Каркасная с решетчатыми диафрагмами жесткости</p> <p>Сочетанием жестких (или шарнирных) рам с вертикальными решетчатыми диафрагмами, работающими на сдвиг, можно добиться существенного повышения несущей способности и жесткости здания. При проектировании может считаться, что каркас воспринимает вертикальные нагрузки, а вертикальные решетчатые диафрагмы - горизонтальные (ветровые) воздействия</p>	
<p>12. Каркасная с решетчатыми горизонтальными поясами и решетчатым стволом жесткости</p> <p>Горизонтальные решетчатые пояса связывают наружные колонны со стволом и тем самым уменьшают степень раздельной работы рамного каркаса и ствола. Система связей называется венчающей сквозной конструкцией в случае расположения горизонтального пояса наверху здания и поясной конструкцией при размещении их в нижней части здания</p>	
<p>13. Коробчато-ствольная (труба в трубе)</p> <p>Наружные колонны и балки располагаются достаточно близко друг от друга, и каркас наружных стен превращается в оболочку с проемами. Все здание работает как полая трубчатая конструкция, консольно заделанная в грунт. Центральный ствол (труба) увеличивает жесткость здания, воспринимая горизонтальные нагрузки вместе с наружной коробкой (трубой)</p>	

#### 14. Многосекционная коробчатая

Здание такой конструктивной схемы выполняется сблокированным из отдельных секций, решенных по коробчатой схеме (пучок труб). Горизонтальные нагрузки воспринимаются как наружной стеновой коробкой, так и межсекционными стенами. В этом случае повышение жесткости системы очевидно. Такое решение допускает строительство зданий очень большой высоты и с большим открытым пространством междуэтажных перекрытий



### 2.1. Современные конструктивные системы жилых высотных зданий из железобетона

В XX веке начинается история высотных зданий, выполненных из железобетона. Первым высотным зданием стало построенное в 1903 г. 15-этажное здание «Ингаллс» в г. Цинцинати (США). Изначально общественность была скептически настроена к применению железобетона в строительстве высотных зданий. Так происходило, потому что до этого четко сформировалось понимание высотного здания с металлическим каркасом. А к железобетонным технологиям, как и ко всему новому, было недоверие. Перед завершением строительства местные газеты и прочие источники информации единогласно пророчили обязательное разрушение монолитного железобетонного каркаса сразу после демонтажа опор. Аргументацией выступали процессы трещинообразования в результате усадки и разрушение под действием собственного веса, который значительно превышал стальные аналоги. Но опасения оказались напрасными, и даже более того железобетон доказал целесообразность своего применения в высотных зданиях. Так при пожарах, которые являются огромной опасностью для сооружений, с стальным каркасом, железобетон зарекомендовал себя с лучшей стороны.

После успешного строительства первого железобетонного высотного здания на данный материал обратили внимание многие деятели того

времени, и железобетон начал быстро развиваться. Самые большие изменения как в конструктивной части, так и в технологии строительства зданий из монолитного бетона произошли в первой половине XX столетия: улучшения в технологии опалубочных систем, технологии приготовления бетонных смесей, их подаче на заданную проектную отметку, появление различных добавок, изменяющих характеристики бетонной смеси. Все это и многое другое позволило облегчить и ускорить процесс возведения высотных зданий из железобетона.

Наиболее явно прогресс в проектировании высотных зданий можно отследить на примере четырех высотных объектов в Австралии. Здание «Хордон Тауэрз» (рис. 2.1) высотой 165 м и шириной 29 м расположено в г. Сидней (Австралия), его конструктивная система – система с внутренним ядром. Ядро в основании здания имеет ширину 9 м, а на последних 30-ти этажах уменьшается до 5 м. На 23-м этаже ядро жестко соединено с колоннами аутригером, это необходимо, чтобы уменьшить изгибающие моменты в ядре здания. В действительности ядро воспринимает порядка 50 процентов от опрокидывающего момента, возникающего при изгибе. Толщина стены ядра в основании составляет 500 мм.

На верхних этажах здания горизонтальные нагрузки воспринимает ядро совместно с диафрагмой жесткости, при этом диафрагма соединяет ядро с конструкциями, выходящими на фасад.



Рисунок 2.1 - Хордон Тауэрз

Для соединения аутригерных балок с колоннами разработано относительно несложное конструктивное решение – аутригеры опираются на колонны посредством опоры, заполненной рабочей жидкостью. Узел такого типа эффективен при восприятии поперечных усилий. В период начальной эксплуатации здания выполнялся мониторинг деформаций, возникающих в результате процессов усадки бетона. По истечении 3 лет от начала эксплуатации после стабилизации деформаций, возникающих от усадки бетона, выполнено окончательное соединение аутригеров и колонн. Описанное выше техническое решение соединения аутригерных балок и их опор считается наиболее удачным.

Не менее интересными конструктивными решениями обладает здание «Эстон» высотой 90 м, также расположенное в Сиднее.

Среди технических решений рассматриваемого небоскреба следует выделить систему для восприятия ветровых нагрузок, использующую диафрагмы-аутригеры. Ее назначение заключено в уменьшении деформаций изгиба здания в целом и изгибных напряжений в сечении ядра

здания. Это решение минимизирует некоторые отрицательные черты, свойственные традиционным аутригерным системам, к примеру, уменьшение полезного пространства помещений. Указанная схема позволяет располагать аутригеры вдоль всей ширины здания вдали от ядра по наружным стенам.

В рассматриваемом здании диафрагмы-аутригеры представляют собой диафрагмы жесткости высотой два этажа и толщиной 200 мм. Они расположены по высоте здания на уровне 12–14 этажей и на верхнем этаже. Выносная система аутригеров ограничивает отклонение сооружения от вертикали при действии на него горизонтальных нагрузок и, кроме этого, редуцирует изгибные напряжения в сечении ядра здания, тем самым минимизируя требуемые толщину ядра и площадь арматуры. Благодаря этому толщина стенок ядра здания «Эстон» ограничена до 200 мм и принята постоянной по всей высоте здания.

Основное преимущество выносной системы аутригеров - возможность с помощью диафрагм-аутригеров объединить колонны, расположенные по периметру здания. При этом компенсируется разность продольных деформаций ядра и колонн и решаются связанные с этим проблемы.

Небоскреб «Ворлд Тауэр» (рис. 2.2) состоит из 84-х этажей. Во время разработки проекта высотного здания применены следующие конструктивные решения:

- ядро железобетонное из элементов коробчатого сечения, объединенных главными балками;
- две пары 8-этажных высоких, преднапряженных в строительных условиях аутригеров, напоминающих по форме алмаз, находятся в середине и на 1/4 высоты здания. При этом они объединяют ядро (лифтовая шахта) с конструкциями, расположенными по периметру;
- окаймляющие стены высотой на 2 этажа, расположенные на концах каждого аутригера на уровне 37-го и 60-го технических этажей. Эти элементы включают в работу все конструкции западного и восточного фасадов совместно со стенами-аутригерами;
- аутригеры-подкосы, состоящие из колонн, воспринимающих нагрузки от действия ветра и наклоненных колонн башни, расположены между 14 и 9 этажами;

– окаймляющие балки по периметру здания на уровне 37-го и 60-го этажей.

Типовой этаж здания имеет размеры 55x28 м. Перекрытие запроектировано монолитным с преднапряженной на строительной площадке арматурой, пролетом 9 м. Вертикальные несущие элементы конструкции небоскреба представляют собой железобетонное ядро, диафрагмы жесткости и 20 периметральных колонн.

Система восприятия горизонтальных нагрузок выполнена таким образом, что около 70% опрокидывающего момента, действующего в критическом направлении, противодействует пара сил (сжимающих и растягивающих), возникающих в колоннах, расположенных по периметру здания. Из 70% воспринимаемого опрокидывающего момента 8% момента противодействуют рамы, создаваемые контурными балками по граням перекрытий и колоннами по периметру, 13% – аутригеры-подкосы, расположенные на 1/4 высоты здания, 30% – стены-аутригеры, находящиеся на нижних уровнях здания, и 19% – стены-аутригеры, расположенные на верхних уровнях здания.

Система аутригеров хотя и является довольно эффективной, ставит перед проектировщиком довольно серьезные проблемы, требующие однозначного решения:

- основные нагрузки должны передаваться вдоль всего здания ядром и колоннами по периметру, при этом должна быть обеспечена минимальная площадь сечения перечисленных элементов;
- должен быть обеспечен минимум разности продольных деформаций колонн и ядра здания. Деформации этих элементов – процесс длительный, требующий постоянного мониторинга и управления. При этом необходимо учитывать деформации, возникающие в результате осадок здания, усадки и ползучести бетона железобетонных конструкций;
- жесткое соединение между ядром и колоннами является обязательным и призвано обеспечить минимальную разность продольных деформаций колонн и ядра.

Железобетонные стены-аутригеры толщиной 400 мм соединяют ядро (центральная лифтовая шахта) с колоннами по периметру здания, включая их в работу в качестве элементов стабилизирующей системы.

Аутригеры представляют собой две стены высотой 8 этажей, при этом форма этих стен напоминает алмаз. Принятая форма обеспечивает отсутствие препятствий при перемещении по зданию по вертикали без ухудшения условий работы аутригеров как конструктивных элементов здания.

Благодаря тщательной проработке системы аутригеров была значительно увеличена жесткость здания, что позволило проектировщикам отказаться от применения демпферных систем.

Так как на здание действуют большие ветровые нагрузки, в стенах-аутригерах применено армирование большими сечениями, состоящее из стержней диаметром 50 и 75 мм.

В рассматриваемом здании «Ворлд Тауэр» применена схема соединения аутригеров с другими конструктивными элементами, похожая на использованную в здании «Хордон Тауэрз».

С целью предотвращения передачи усилий 8-этажными аутригерами на ядро здания, возникающих в системе в результате разности величин продольных деформаций колонн (расположенных по периметру) и ядра, в узлах соединения стен-аутригеров и окаймляющих стен использованы опоры типа “Флэт-джэк”, заполненные рабочей жидкостью. Эти опоры способны передавать полное значение расчетных горизонтальных нагрузок, оставаясь при этом регулируемые.

В процессе возведения здания проводился постоянный мониторинг продольных деформаций в системе и выполнялась периодическая регулировка опор.

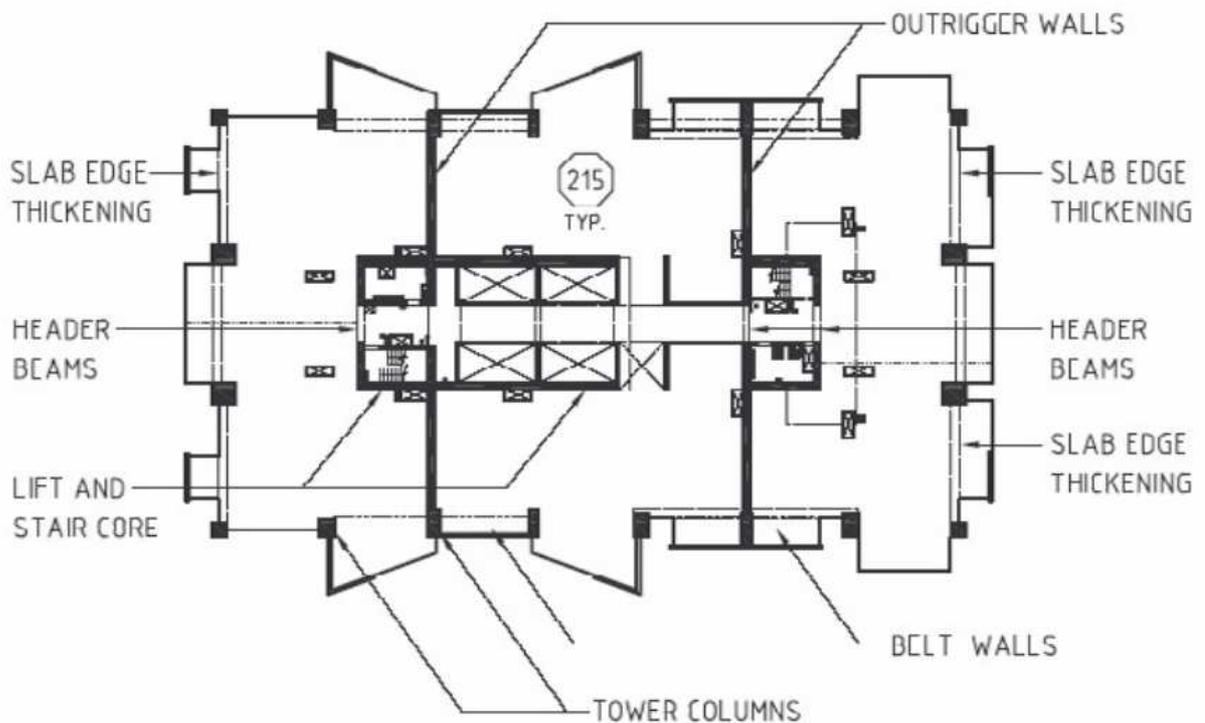
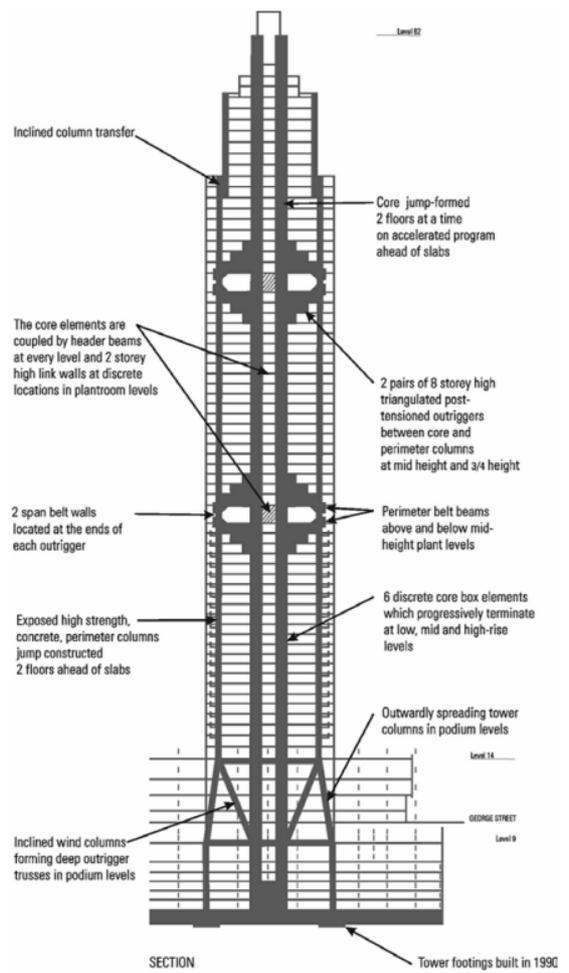


Рисунок 2.2 - Ворлд Тауэр

После того как доля продольных деформаций системы в результате усадки и ползучести сократится до минимума, опоры типа «Флэт-джэк» будут заперты, а рабочая жидкость в них заменена на эпоксидную смолу. Вследствие этого дополнительное обслуживание опор не требуется.

В результате выполненной оптимизации распределения усилий в ядре и колоннах здания, высокого модуля упругости бетона, примененного при строительстве, разность продольных деформаций колонн и ядра сооружения удалось сократить до 20 мм.

Регулярный мониторинг конструкций показывает, что перемещения элементов конструктивной схемы (ядра и колонн) относительно друг друга окончательно стабилизировались после года эксплуатации здания.

Применение высокопрочного бетона (прочность до 90 МПа) для колонн, расположенных по периметру здания, и бетона нормальной прочности (до 40-60 МПа) для бетонирования ядра создает много преимуществ:

- использование высокопрочного бетона в колоннах башни положительным образом влияет на эффективность работы стабилизирующей системы, воспринимающей горизонтальные нагрузки благодаря приросту прочности и модуля упругости бетона по отношению к бетону нормальной прочности;

- снижается разность продольных деформаций ядра и колонн здания;
- увеличивается полезная площадь здания за счет уменьшения размеров сечения колонн, кроме этого улучшается обзорность из окон здания, что является не последним фактором при продаже площадей небоскреба.

Применение бетона с низкими показателями ползучести и усадки вышеупомянутого типа привносит значительный вклад в уменьшение разности продольных деформаций колонн и ядра здания.

«Эурека Тауэр» (рис. 2.3) – самое высокое жилое здание в Австралии и одно из самых высоких в мире. Высота 300 м (92 этажа). Для данного сооружения запроектированы особые конструктивные мероприятия, функция которых заключена в ограничении угловых ускорений верха здания под действием ветровой нагрузки.

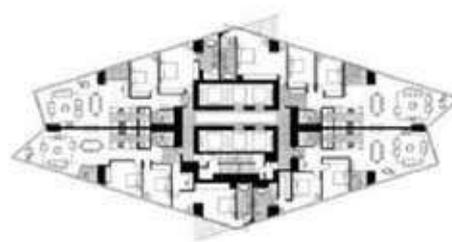


Рисунок 2.3 - Эурека Тауэр

Принятая схема расположения конструктивных элементов на плане этажа нижних уровней здания включает в себя расположения диафрагм жесткости в виде креста. Она использует 4 внутриквартирных стены в качестве железобетонных стен-аутригеров, проходящих сквозь все жилые этажи.

Основная лифтовая шахта – ядро здания – расположена центрально и соединена с рамой, образованной наружными колоннами и перекрытиями, железобетонной диафрагмой-аутригером толщиной 300 мм. С целью минимизации толщины стенок ядра, размеров поперечного сечения колонн и максимизации полезной площади в конструкциях использован высокопрочный бетон с прочностью 125 МПа.

Образованная нетипичная конструктивная схема была получена за счет интеграции уникального архитектурного решения, нестандартных конструктивных решений, выполнения специфических конструктивных требований и особой жесткости здания.

Расчеты конструктивной схемы показали, что наиболее оптимальным для данного здания является расположение элементов стабилизирующей системы в виде креста. Далее было установлено, что до момента достижения зданием предельных деформаций изгиба (в результате действия ветровой нагрузки) его угловое ускорение достигает величин, несколько превышающих допустимые пределы.

Кроме этого, неточности при определении фактической жесткости здания и частоты собственных колебаний усложнили оценку демпфирования здания. Сложности при оценке его поведения возникали еще и благодаря нагроможденной системе фундаментов, увеличивающей гибкость сооружения в целом. Расчетная частота собственных колебаний составила 0,17 Гц. Величина гашения – 0,8–1% за 5-летний период повторяемости ветровой нагрузки. В итоге было решено разработать дополнительные системы демпфирования и провести полномасштабные испытания с целью определения фактической частоты собственных колебаний и значений частот, демпфируемых специализированными системами здания.

Типовым решением при разработке демпфирующих систем является размещение пассивных или активных (управляемых) масс на крыше здания. Как правило, их величина составляет приблизительно 2% от общей массы здания.

При разработке проекта «Эурека Тауэр» было решено применить дополнительную демпфирующую систему с жидкой массой. Бак с водой на крыше здания выполняет несколько функций. Во-первых, он является элементом демпферной системы, во-вторых, его объема вполне достаточно для нужд системы пожаротушения и бытовых нужд жильцов здания.

### Новые опалубочные системы

Для возведения небоскребов из монолитного железобетона наиболее часто применяется переставляемая опалубка. Проектировщики, учитывая новые технологии строительства, располагают элементы несущих

конструкций так, чтобы не препятствовать применению опалубки, которую можно использовать (переставлять) многократно без дополнительных затрат.

Применение новых опалубочных систем в монолитном строительстве дало возможность возводить здания любой этажности и конфигурации. Одним из наиболее востребованных на рынке видов опалубочных систем является съемно-разборная опалубка. На сегодняшний день это технически сложный продукт, который имеет большое количество циклов эксплуатации.

Много лет опалубка изготавливалась из древесины, но по мере развития новых технологий в производстве опалубочных систем начали применять и другие материалы: сталь, алюминий, стекловолокно, пластмассы, а зачастую их комбинации. Выбор материала предопределяет основные технико-экономические характеристики опалубочной системы, которые должны соответствовать требованиям по допустимым нагрузкам и прогибам. Эти показатели варьируются исходя из назначения и области применения вида опалубки, тем не менее в своих пределах она должна обладать достаточной жесткостью.

Необходимая прочность опалубочной системы достигается за счет увеличения толщин и сечений ее элементов, что приводит к увеличению собственного веса конструкций опалубки. Разработка опалубки с оптимальным балансом между жесткостью и легкостью конструкции является самой актуальной проблемой для разработчиков опалубочных систем.

Вес опалубочных систем имеет существенное значение при возведении высотных зданий. Если элементы из металла имеют достаточно сложную конфигурацию, то для снижения их массы применяют тонкостенные детали, изготавливаемые по технологии гнутья или экструзии. По причине относительно малой прочности технического алюминия в чистом виде для строительных конструкций его не применяют, прибегая в качестве альтернативы к сплавам из алюминия с кремнием. Получаемая алюминиевая опалубка имеет соизмеримые со стальной прочностные и деформационные показатели и при этом почти в 3 раза легче. Трудоемкость транспортировки, монтажа и стоимость таких систем существенно уменьшается. Однако в отличие от стальных в случае

деформации они, как правило, не подлежат восстановлению, что, разумеется, является недостатком.

Все чаще и чаще строители прибегают к инновационным технологическим решениям по возведению высотных зданий из монолитного бетона. Одним из таких решений следует считать применение новых опалубочных систем типа «ползущей опалубки» или «платформенной технологии».

Современные опалубочные системы, к примеру фирмы «Дока», позволяют объединить опалубку стен и перекрытий в единое целое и проводить процесс бетонирования стен и перекрытий в один этап. Именно с помощью этого метода в Чикаго возведено здание «Heritage at the Millennium Park» (рис. 2.4) высотой 190 м.

«Heritage at the Millennium Park» состоит из двух разновысоких частей: 60-этажной и 28-этажной. Подвальное помещение здания и 2 первых этажа предназначены для размещения различных учреждений, следующие 6 – для устройства паркинга, а с 9-го этажа расположены 356 роскошных жилых квартир.

Архитектурный облик сооружения с выпуклыми и вогнутыми фасадами оказал влияние на выбор опалубочных систем при его строительстве. Для возведения наружных стен и диафрагм жесткости использовалась опалубка “Дока Фрамакс”. Ядра обеих частей здания выполнялись с помощью “ползущей опалубки”. Одновременно с бетонированием ядра производилась перестановка опалубки стен и перекрытий. Данный прием значительным образом ускорял процесс строительства: достигнута рекордная скорость – здание возводилось в трехдневный цикл.

«Heritage at the Millennium Park» является отличным примером возведения высотного многоквартирного жилого здания с применением железобетона в качестве основного конструкционного материала.

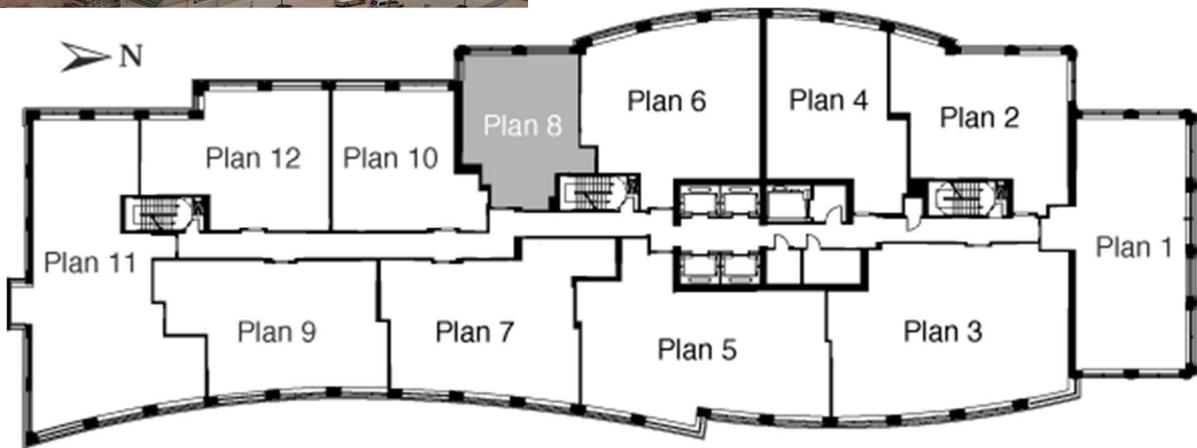
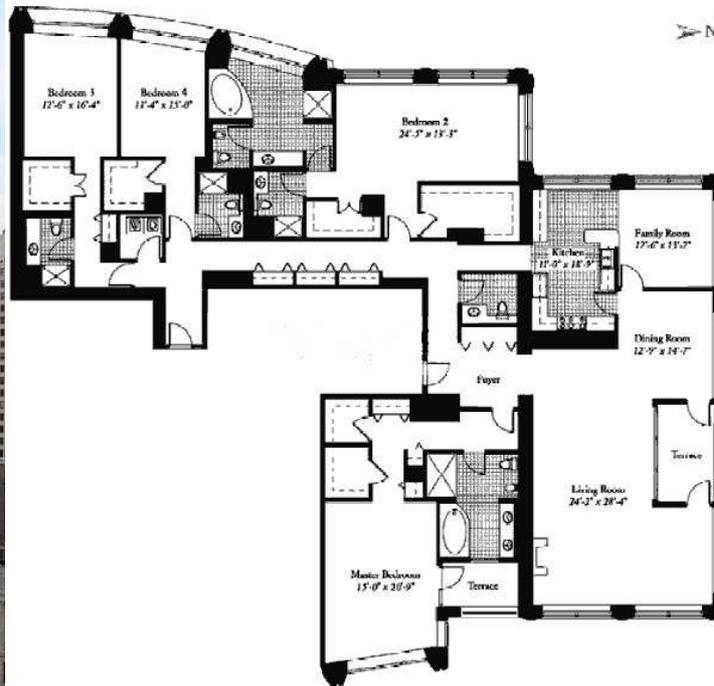


Рисунок 2.4 - Heritage at the Millennium Park

### Новые технологии строительства

Выбор материала для несущих конструкций каркаса, на долю которых приходится треть всех затрат, является одной из важнейших задач. В последние десятилетия в Европе, Азии, Австралии и других регионах упор сделан на монолитный железобетон, который обеспечивает огнестойкость конструкций, повышает их жесткость и, самое главное, удовлетворяет

требованиям индустриальности при круглогодичном производстве бетонных работ. В мировой практике широко используются и сталебетонные каркасные системы. К ним можно отнести финансовый центр в г. Тайпей (Тайвань) высотой 509 м, построенный в 2004 г., здание WCF в г. Шанхай (Китай) высотой 492 м.

Самое высокое здание в мире – башня Бурдж-Халифа (Дубай) высотой около 800 м - выполнен из монолитного железобетона. Мировая практика показывает, что в основном применяют бетон классов В40–В60. В последние годы наметилась тенденция к использованию высокопрочных бетонов классов В60-В90. Монолитный каркас комплекса «Федерация» в Москве, например, возведен из бетона класса В60 и В80-В90.

С конструктивной точки зрения целесообразно использовать класс бетона в соответствии с действующими нагрузками по высоте здания. Примером рационального подбора классов бетона может служить каркас «Jin Mao Building w Szanghaju» (Шанхай). Мегаколонны на нижних этажах сооружения имели сечение 1,5х5,0 м, с переходом на более высокие этажи – 1,0х3,5 м. При этом класс бетона варьировался от В80 до В40.

Требования к бетону как конструкционному строительному материалу для высотных зданий становятся особенно жесткими. И без современных технологий модификации монолитного бетона, обеспечивающих необходимую морозо-, огне-, ударостойкость и долговечность при агрессивных воздействиях, в высотном строительстве не обойтись.

При строительстве зданий выше 30 этажей необходимы специальные самоподъемные опалубки с гидравлическим приводом, работающие без применения крана в любую погоду. Самоподъемные опалубки выпускают лишь ведущие мировые фирмы по производству опалубочной техники.

Самоподъемные опалубки в комплексе решают вопросы опалубливания и механической распалубки конструкций, механического перемещения опалубки по высоте, обеспечивают безопасные условия производства работ и максимальную защиту от ветра. Опалубка носит индивидуальный характер, проектируется и изготавливается под конкретный объект. Для особо сложных высотных зданий разрабатывают специальные проекты с увязкой перемещения опалубки по высоте, гидравлической распределительной стрелы и индивидуальных кранов,

размещаемых на строящемся каркасе. При строительстве самого высокого здания в мире (Бурдж-Халифа, Дубай) применены комплекты самоподъемных гидравлических опалубок, обеспечивающие возведение одного этажа за 4–5 дней.

Важным и обязательным условием высотного строительства является его научно-техническое сопровождение и осуществление мониторинга поведения здания, инженерных систем в процессе строительства и эксплуатации. Особенно важно контролировать всевозможные отклонения и деформации на стадии возведения объекта, чтобы на их основании судить о дальнейшем поведении сооружения, а главное, при необходимости своевременно вносить коррективы в ход проектирования и строительства.

## **2.2. Современные конструктивные системы жилых высотных зданий из металла**

Прочный и легкий стальной каркас позволяет градостроителям реализовывать их самые смелые идеи. Всемирный Торговый Центр, Эмпайр-стейт-билдинг, Хоум-иншурэнс-билдинг и десятки других стальных небоскребов поражают воображение грандиозностью архитектурного замысла и изяществом его реализации.

Появление высотных зданий с металлическим каркасом стало возможным благодаря открытию бессемеровского процесса изготовления стали, который стал революционным прорывом в металлургии конца XIX века. До изобретения нового метода производства сталь в основном использовалась для изготовления предметов быта. Поворотным моментом для Генри Бессемера стала беседа с Наполеоном III. В очередной раз двигателем научно-технического прогресса стали интересы военно-промышленного комплекса, и в 1856 году Бессемер запатентовал первый недорогой метод промышленного производства стали из чугуна, который позволил снизить стоимость стали, сократить время на ее производство и увеличить объемы.

Дешевая сталь быстро нашла свое применение в мирном многоэтажном строительстве. До Бессемера архитекторы пытались увеличить этажность зданий за счет утолщения кирпичных стен на нижних этажах. После начала массового производства недорогой стали

градостроители смогли реализовать идею строительства небоскребов за счет использования стальных каркасов.

На стальной каркас были «повешены» легкие каменные стены (наращивать толщину стен для придания многоэтажке дополнительной устойчивости больше не было необходимости). Кроме того, помещения в домах с таким типом каркаса были более светлыми – сталь давала возможность существенно увеличить количество окон.

При возведении первого стального небоскреба были заданы стандарты и для других строительных инноваций (лифтового оборудования, конструкции крыш, сантехнических систем и т.д.).

К сожалению, сейчас сооружения со стальными перекрытиями, вертикальными и боковыми структурными элементами из стали сейчас строят сравнительно редко. Ныне большинство небоскребов возводится с использованием различного рода композитов, железобетона или совмещения стальных и бетонных технологий. Тем не менее, исключительная прочность стального каркаса создала особый узнаваемый архитектурный стиль, примеры которого еще долго будут радовать глаз ценителей стального искусства.

В России технология строительства с применением стального каркаса в основном применяется для возведения зданий нежилого назначения: складских комплексов, торговых центров, спортивных объектов, промышленных и сельскохозяйственных зданий. Особое распространение имеют полнокомплектные быстровозводимые здания из металла различного назначения.

В гражданском секторе ситуация отличается: для строителей наиболее привычными технологиями являются панельное и монолитное строительство, поэтому немногие застройщики готовы отойти от знакомых материалов и попробовать новую технологию. Но так как большую долю нового строительства занимают жилые здания, интересен опыт применения металлоконструкций именно в этом сегменте.

Сегодня технология строительства с применением стального каркаса используется при строительстве высотных зданий, жилых комплексов средней и низкой этажности, multifunctional комплексов, инфраструктурных объектов (паркинги, ФОКи) и социальных объектов

(школы, детские сады, медицинские центры), коммерческой недвижимости. Основными преимуществами данной технологии являются: скорость, конкурентная себестоимость, гибкость и функциональность планировочных решений, возможность «типового» строительства и экономическая эффективность.

Это возможно благодаря отсутствию так называемого «цикла мокрых работ» в процессе монтажа, который серьезно замедляет возведение монолитных зданий. Здесь проявляется еще один плюс стальных конструкций: их производят непосредственно на заводе, а на стройплощадку доставляются уже фактически готовые элементы, которые остается просто смонтировать. Кроме того, отсутствие «мокрых процессов» дает возможность всесезонного строительства в различных регионах РФ без дополнительных затрат на применение новейших технологий и материалов для зимнего строительства.

Для увеличения темпов применяется поточный метод строительства, при котором возведение несущих конструкций на более высоких отметках здания ведется параллельно устройству ограждающих конструкций на уровнях ниже. Данный метод работает при многоэтажном строительстве, так как металлокаркас имеет возможность возведения укрупненными элементами высотой 12 и более метров. При возведении 3-х и 4-х этажных зданий совмещение этапов не требуется, так как интенсивность использования рабочих в данном случае будет снижаться. Скорость строительства стального каркаса соизмерима с панельным домостроением, который основан на использовании предварительно изготовленных крупных железобетонных панелей и плит заводского производства.

Плюсом зданий, построенных по технологии стального каркаса, является отсутствие несущих стен. Такое конструктивное решение дает приобретателю помещения свободу в планировании комнат. Также оригинальные планировки помогают создавать сравнительно небольшие размеры вертикальных несущих конструкций (колонн). Вместо несущих бетонных стен и вытянутых пилонов при устройстве стального каркаса применяется небольшая стальная колонна. Из этого следует один из плюсов технологии стального каркаса - свободное расположение квартир и бесчисленное множество вариантов перепланировки, а также эргономичность планировочных решений

В современной мировой строительной практике на сегодняшний день наиболее востребованы сталежелезобетонные конструкции и конструкции из тонкостенных оцинкованных элементов. Сталежелезобетонные конструкции представляют собой гибрид стального каркаса и монолитного железобетона. Такой гибрид двух различных конструктивных решений позволяет получить достоинства обеих систем в одной конструкции: обеспечиваются компактные сечения и большие пролеты, защита от коррозии и огнезащита конструкций. В российской строительной практике такие технологии тоже используют, но в гораздо меньших объемах из-за отсутствия нормативной базы, которую с введением нового свода правил по проектированию сталежелезобетонных конструкций удастся улучшить.

Активному применению технологии «стального каркаса» в жилищном секторе препятствуют стереотипы, которые сложились вокруг данной темы («ненадежность технологии», «длительные сроки согласования», «отсутствие квалифицированного рабочего персонала» и т.д.). Если сравнивать все технологии для реализации объектов жилого назначения, то мы увидим, что конкурентные преимущества стального строительства имеют гораздо большую значимость, нежели те опасения и стереотипы, которые легко можно нивелировать в процессе «наработки» практики.

В России есть все предпосылки для успешного использования данной технологии не только в промышленном сегменте, но и в гражданском строительстве. Во-первых, у нас существует избыток производственных мощностей по стальному прокату, существует множество производителей стальных конструкций, а также монтажных организаций. Во-вторых, Ассоциация развития стального строительства активно занимается системной работой по повышению возможностей проектировщиков, совместно с ведущими научными институтами ведет разработку новых строительных норм, пособий по проектированию с применением стальных конструкций. Поэтому при благоприятном развитии событий (внесении необходимых изменений в нормативную базу, успешной реализации пилотных проектов в гражданском строительстве, которыми сейчас занимается Ассоциация, повышении уровня знаний проектировщиков) доля строительства многоэтажных зданий на стальном каркасе увеличится.

Основным недостатком использования стальных несущих конструкций является необходимость дополнительно защищать их от огневого воздействия при возможном пожаре. В монолитных железобетонных конструкциях данная проблема неактуальна, так как подобная защита обеспечивается защитным слоем бетона. Поэтому для огнезащиты стальных конструкций применяются специальные сертифицированные огнезащитные материалы. Также можно применять конструктивную огнезащиту, то есть скрывать несущие элементы в объёме внутренних и наружных стен. Это позволяет обеспечить необходимую защиту от огневого воздействия.

В зданиях, построенных по технологии стального каркаса, в качестве ограждающих конструкций обычно применяются каркасные стены с внутренним утеплителем. Их удобно изготавливать в заводских условиях и транспортировать на строительную площадку, что значительно снижает трудозатраты строительного процесса. Внутренние стены изготавливаются по похожей технологии. Главным преимуществом использования навесных стеновых панелей является возможность снизить металлоемкость каркаса и увеличить внутреннее пространство помещений. При использовании панелей возрастает скорость наружной отделки здания по сравнению с классическими способами отделки. Навесные панели часто монтируются к наружным колоннам без опирания на перекрытия, что позволяет снизить расход металла наружных балок каркаса перекрытий.

Основные элементы каркаса многоэтажного здания – это колонны. Они воспринимают вертикальные нагрузки: гравитационные – от собственного веса всех конструкций – а также вес людей и оборудования. Колонны передают все нагрузки на фундамент. Второй обязательный элемент - горизонтальные балки перекрытий, они расположены в уровне каждого этажа. Их функция – передавать нагрузку от веса людей и оборудования и собственного веса на колонны. Наконец, третья деталь – связи, которые передают на фундамент нагрузку от ветра и вибраций, например землетрясений. Именно таким образом стальная несущая система обеспечивает устойчивость любого многоэтажного здания, в том числе и небоскреба. Существует ряд конфигураций несущих конструкций, которые могут сочетаться в различных комбинациях, в зависимости от высоты и желаемой формы здания. При высоте до 30 этажей используется обычный связевой каркас, а при высоте от 30 до 60 этажей появляется

необходимость включать дополнительные выносные элементы, чтобы обеспечить надежность и жесткость конструкции.

При проектировании многоэтажных каркасных зданий особое внимание уделяется оценке устойчивости каркаса. Общая устойчивость зданий на стальном каркасе достигается следующими способами:

- установкой связей (крестовых, порталных),
- установкой диафрагм жесткости,
- устройством ядер жесткости (лестничные клетки, лифтовые шахты и пр.),
- устройством рам (жестких узлов сопряжения балок с колоннами и колонн с фундаментом).

Наиболее эффективным и простым способом обеспечения устойчивости является устройство так называемого связевого каркаса, горизонтальные перемещения которого ограничены работой диагональных связей, имеющих протяжённость на всю высоту здания.

В жилом здании подобные связевые блоки необходимо скрывать в объёме внутренних и наружных стен, что достигается при простых планировочных решениях в зданиях коридорного (галерейного) типа. В таких случаях отсутствует необходимость устройства дополнительных вертикальных элементов жёсткости (железобетонных ядер жёсткости) и допускается возможность максимального использования элементов заводской готовности, в том числе для конструкций ЛЛУ. Каркас лестничных клеток может быть выполнен из стальных конструкций, а лифтовая шахта из сборных железобетонных.

Альтернативным решением лестнично-лифтового узла является устройство монолитных железобетонных стен лестничной клетки и лифтовой шахты. Этот способ повышения устойчивости здания позволяет полностью исключить либо минимизировать количество связевых блоков, тем самым решая проблему скрытия связей в наружных/внутренних стенах. Особенно это актуально при сложных архитектурных планировках квартир, когда нерегулярность стен в плане не позволяет совместить стены со связями каркаса.

В жилых зданиях объёмно-планировочные решения разрабатываются с учётом расположения вертикальных несущих конструкций в плане. Стальные каркасы рационально проектировать с размещением колонн в углах. При выборе сборной конструкции

перекрытия следует учитывать номенклатуру изделий, выпускаемых на предприятиях стройиндустрии, возможность применения современных железобетонных конструкций непрерывного бетонирования с последующей разрезкой на отдельные плиты. Сборная конструкция позволяет свести работу на строительной площадке преимущественно к монтажу готовых элементов. Перекрытия, выполняемые на строительной площадке в виде монолитных плит, устраивают с применением профнастила в качестве несъёмной опалубки или с использованием инвентарных опалубок, фиксируемых на проектной отметке перед укладкой бетона.

В отличие от промышленного строительства, при проектировании стального каркаса жилого здания необходимо учитывать требование максимально скрыть элементы конструкций в объёме внутренних и наружных стен. Несомненным преимуществом стальных конструкций является способность перекрывать большие, по сравнению с железобетонными конструкциями, пролёты. Однако при увеличении пролёта габариты сечения несущей балки каркаса перекрытия могут достигнуть значительных размеров. Поэтому одной из задач проектировщика является определение оптимального соотношения между величиной перекрываемого пролёта и приемлемыми размерами сечений балок. То же относится и к колоннам. При большом шаге колонн значительно увеличиваются их сечения, и спрятать эти конструкции в стенах становится сложнее. Для снижения габаритов сечений колонн рекомендуется увеличивать класс прочности стали для колонн.

Огнезащита стальных конструкций – один из наиболее часто встречающихся вопросов, когда речь заходит о проектировании зданий на основе стального каркаса. Основные требования пожарной безопасности в части огнестойкости и пожарной опасности строительных конструкций для многоквартирных жилых зданий изложены в СП 2.13130.2012 «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты».

Огнестойкость конструкции – это время огневого воздействия на конструкцию в минутах, в течение которого конструкция сохраняет несущую способность. Пределы огнестойкости назначаются из возможности тушения пожара до обрушения несущих конструкций.

Высота жилого здания и площадь этажей в пределах пожарного отсека определяют характеристику здания, от которой зависят требования

по защите строительных конструкций от воздействия огня при пожаре, - степень огнестойкости здания. В зависимости от степени огнестойкости здания назначается предел огнестойкости элементам конструкций. Многоэтажные жилые здания, как правило, имеют степень огнестойкости не ниже III, что означает необходимость обеспечивать защиту конструкций от воздействия огня при пожаре продолжительностью не менее 45 минут.

Сталь является негорючим материалом, но как и все материалы, используемые в строительстве, не может в течение длительного времени выдерживать воздействие высокой температуры, возникающей внутри здания при пожаре. Поскольку собственный (фактический) предел огнестойкости стальных строительных конструкций, как правило, не превышает 15 минут, то для приведения в соответствие с требуемым пределом огнестойкости предусматривают их огнезащиту.

Конструктивная огнезащита может представлять собой облицовку, обетонировку или оштукатуривание. Такая огнезащита может выполняться традиционными строительными материалами (кирпич, цементно-песчаный раствор, бетон) и материалами, получившими широкое распространение в последние два десятилетия (например, листы гипсокартона, минераловатные плиты, разного рода пасты, штукатурки и другие). На сегодняшний день на рынке строительных материалов широко представлены материалы, предназначенные непосредственно для огнезащиты конструкций, прошедшие испытания и сертифицированные.

Тонкослойные огнезащитные покрытия представляют собой вспучивающиеся краски, эмали и лаки. Вспучивающиеся покрытия при высокотемпературном воздействии значительно увеличиваются в объеме (в 20-40 раз). Такие покрытия имеют свои преимущества: малый вес, меньшая трудоемкость по сравнению со штукатурными и облицовочными работами, не существенное влияние на габариты конструкции. Также такое покрытие легко восстановить после повреждения, и оно более дешевое по сравнению с конструктивной огнезащитой. Среди вспучивающихся покрытий стоит выделить краски на эпоксидной основе, образующие после высыхания очень твердую износостойчивую поверхность. Главный минус тонкослойного покрытия – ему необходимо около 4 минут, чтобы набрать объем и соответственно включиться в защиту конструкции на 100%. В отдельных случаях это может иметь весьма важное значение.

Существует стереотип, что стальные конструкции абсолютно не устойчивы к пожару. О трагедии, произошедшей в World Trade Centre, написано достаточно много. В отчёте по результатам анализа также подчеркнута важность адекватной противопожарной защиты. Основной мыслью рекомендаций была привязка нормативных требований к прогнозируемой проектом угрозе. Вопрос о том, на какую угрозу должны быть рассчитаны здания, остаётся актуальным. Решение одной проблемы ведёт к появлению или возрастанию негативных последствий от другой. Конструкции небоскрёбов World Trade Centre выдержали столкновение с самолётами, но металлический каркас и узлы сочленений конструкций не устояли при пожаре. Однако металл лучше, чем бетон противостоит динамическим нагрузкам и, например, при внутреннем взрыве (теракте) с большей вероятностью сохранит несущую способность.

Небоскрёб как тип здания возник в США благодаря внедрению стального проката и созданию конструкции стального каркаса в XIX веке, и до настоящего времени в США сталь остаётся лидирующим материалом несущих конструкций. В настоящее время сталь активно применяется при строительстве высотных зданий. В России запроектированы высотные здания со стальным каркасом высотой до 300 м. Даже в высотках из монолитного железобетона применяются несущие стальные конструкции, например, для аутригерных этажей. Соответственно, возникает необходимость огнезащиты данных конструкций. Именно недостаточная огнестойкость узлов стальных несущих конструкций стала причиной обрушения зданий-близнецов, которые до этого выдержали аварийные ударные и взрывные воздействия.

Рассмотрим несколько примеров построенных зданий.

Высотные здания Чикаго отличаются разнообразными формами и конструкциями, среди них выделяется небоскреб «Джон Хэнкок Центр» (рис. 2.5). Он представляет собой построенное в 1969 году многофункциональное здание высотой 344 метра. В здании размещены коммерческие помещения на первом этаже; гаражи, офисные помещения, занимают с 20-го по 41-й этаж; и 711 квартир на верхних 10 этажах.

Джон Хэнкок Центр - уникальный небоскреб по своей конструкции. Его пустотелая конструкция напоминает огромную четырехугольную колонну. Конструкция строится на основе различных элементов, расположенных по периметру здания, с горизонтальными, вертикальными и диагональными связями, формирующими очень устойчивую стальную колонну, способную противостоять напору сильного ветра. Из-за такой конструктивной схемы на фасаде расположено очень много несущих элементов, вследствие чего он стал темным как внутри, так и снаружи. Такое конструктивное решение особенно сильно сказалось на планировке общественных нижних этажей.

Вторым следствием расположения несущих элементов на фасаде стало большое внутренне пространство свободное от несущих элементов с возможностью гибких планировок. Форма усеченного конуса отлично подходит для функционального деления, таким образом на нижних этажах высотного объекта разместились обслуживающие структуры: автостоянки и магазины, а на уменьшающихся к вершине этажах - жилые помещения.

Пространство крыши высотки тоже используется, на ней расположились: ресторан с баром, смотровая площадка, с высоты которой открываются прекрасные виды на Чикаго. Проживающие и работающие в здании люди могут не покидать его стен, так как в нем расположены все необходимые службы. Фасад здания разделен на пять секций по 18 этажей в каждой, обозначенных диагональными усилительными элементами, с дополнительной верхней полусекцией из девяти этажей. Фасад облицован анодированным алюминием и стеклом бронзового цвета. На здании поставлены две 100-метровые радио- и телевизионные антенны, придающие ему характерный вид.

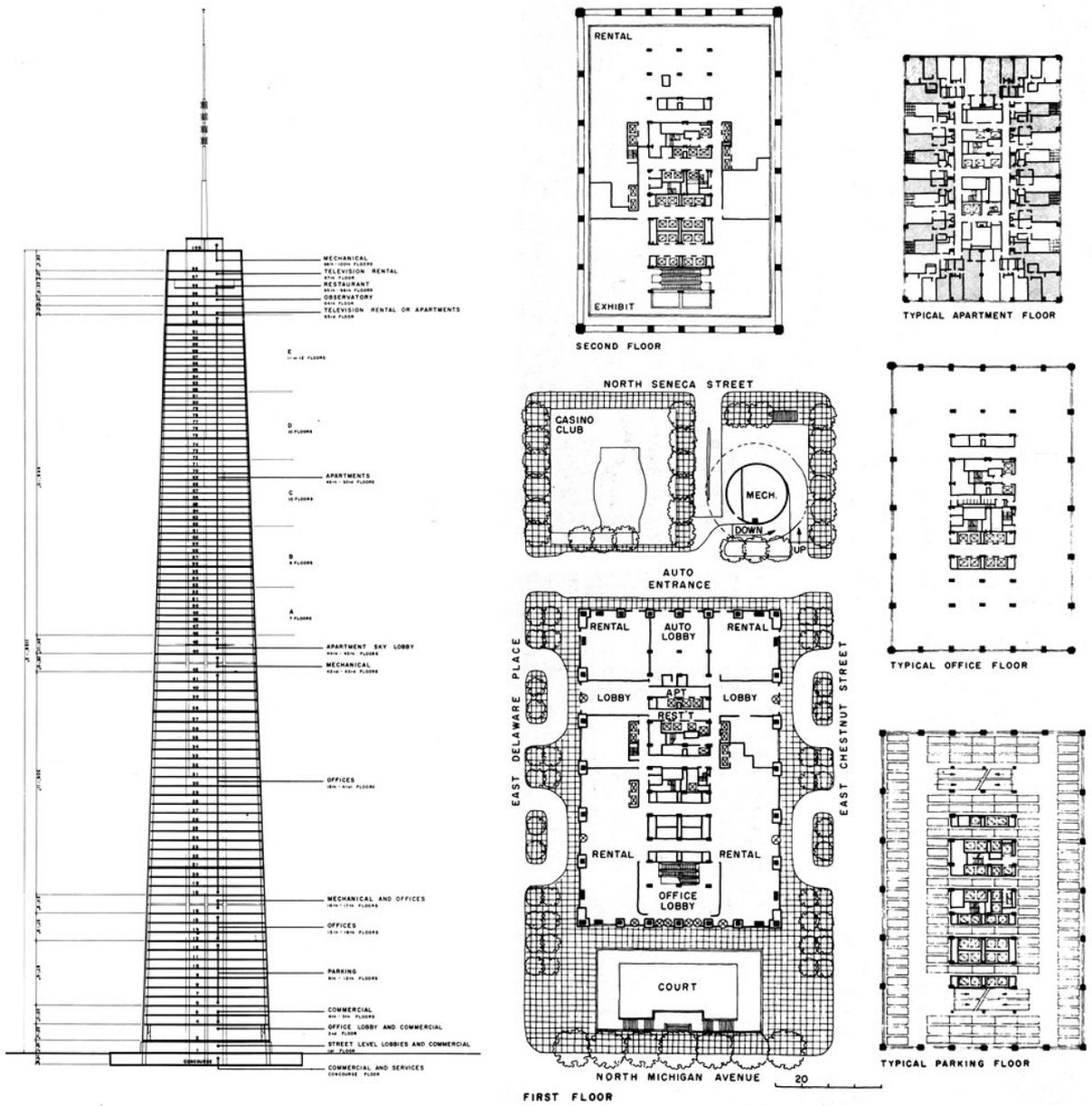


Рисунок 2.5 - Джон Хэнкок Центр



Рисунок 2.5 - Джон Хэнкок Центр



Рисунок 2.6 - Башня Aspire

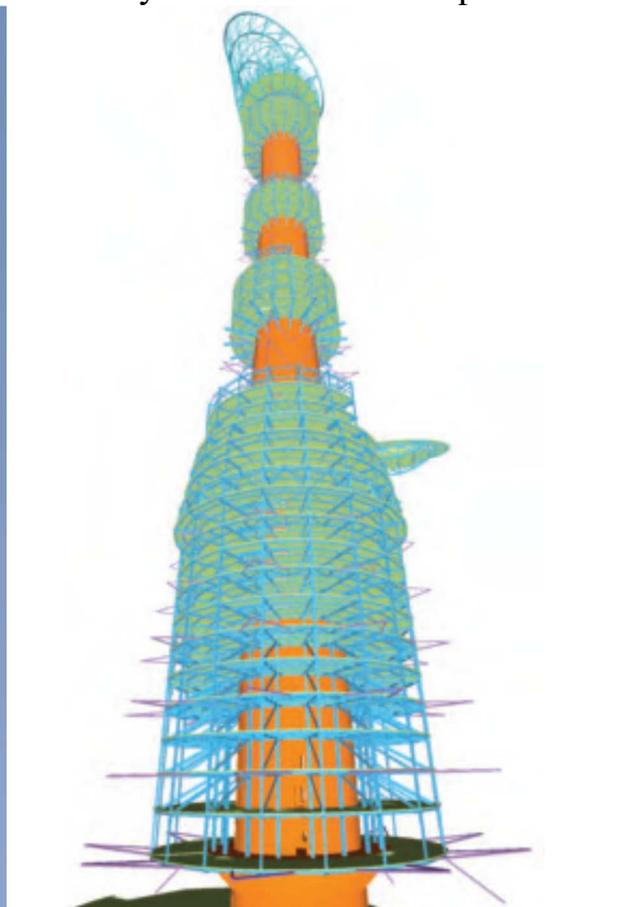


Рисунок 2.6 - Башня Aspire

300-метровый небоскреб-отель, расположился в комплексе Aspire Zone в Дохе, Катар. Башня Aspire (рис. 2.6) в настоящее время является самым высоким зданием в Катаре. Башня строилась с целью показать величие страны на Азиатских играх 2006 года, поэтому ее строили такую масштабную и близко к основному месту проведения игр, Международному стадиону Халифа.

Сердцевиной здания служит железобетонный цилиндр (ядро) толщиной от 1 до 1,8 метра и диаметром от 12 до 18 метров. Он окружен излучающими сетками консольных стальных балок на каждом этаже его строительных модулей. Сами модули состоят из стальных колонн, металлического настила, бетонных плит и внешних балок растяжения и сжатия, поддерживающих внешние стены, обшитые стеклянными панелями. Дно каждого модуля покрыто бетоном, армированным стекловолокном. Балки, а также стальные распорки, связывающие все элементы конструкции вместе, закрепляются болтами через бетонный сердечник и, следовательно, закрепляются на месте, передавая вертикальные нагрузки от колонн по периметру и кольцевых балок на ядро.

### **2.3. Современные конструктивные системы жилых высотных зданий из дерева**

Энергосбережение и экология строительных процессов и материалов выходят на первое место в международном обсуждении. В связи с этим в Европе и Северной Америке начали строить небоскрёбы из дерева, основываясь на идее энергосбережения и очищения атмосферы от углекислого газа. В Финляндии доля деревянных домов составляет 40 %, в Германии здания из древесины занимают 20 % строительного рынка, в Австрии около 30 % домов построено с применением деревянных конструкций.

На сегодняшний день в мировом жилом строительстве уже имеется ряд реализованных проектов жилых домов из дерева. На данный момент они значительно уступают по высоте зданиям из стали или железобетона, но их высота достаточна для создания комфортной городской застройки. Основным толчком для реализации таких проектов стало развитие технологии CLT. Именно она позволяет строить жилые дома, не загрязняя окружающую среду.

Строительство высотных домов из дерева производится по технологии Cross-laminated timber или X-lam – из крупногабаритных перекрёстно-клееных панелей (CLT panels). Колонны, балки и стропила изготавливают из древесины ели. Высушенные деревянные ламели толщиной от 10 до 45 мм под давлением не менее 0,6 Н/мм<sup>2</sup> перекрёстно наклеивают друг на друга при помощи связующего состава, который не содержит фенолформальдегидных смол. Благодаря перпендикулярному расположению волокон нивелируется анизотропность древесины, почти до минимума сводится эффект усыхания и значительно увеличивается несущая способность. Чаще всего используются панели толщиной от 3 до 7 слоёв. На производстве из получившихся элементов в соответствии с разработанными чертежами вырезают панели вместе со всеми необходимыми проёмами и каналами под электропроводку и коммуникации.

Следующим этапом подготовленные панели маркируются и разрабатывается детальная схема сборки здания, после чего их транспортируют на строительную площадку. На месте остаётся только собрать все элементы в правильной последовательности. Большинство ошибок возникает при сборке, так как схема деревянных несущих конструкций сложнее сборного железобетона и у строителей намного меньше опыта в реализации подобных проектов, но если отладить монтаж, то процесс возведения идёт намного быстрее, чем при возведении железобетонных зданий. В основном ускорение монтажа связано с меньшим весом деревянных конструкций. В среднем опытная бригада из четырех строителей и подъёмный кран собирают 8–10-этажное деревянное здание за 9–10 недель. Строительство деревянных зданий хорошо подходит для застройки в уже заселённых районах, так как возведение зданий из древесины обеспечивает чистоту стройплощадки и относительную тишину монтажного процесса.

Самые большие нагрузки в конструкции возникают в стыках между панелями стен и в местах примыкания к стенам перекрытий. Панели соединяют друг с другом при помощи штифтов, стальных пластин и ряда поставленных крест-накрест шурупов, достигающих 550 мм в длину. Клееные панели обладают высокими акустическими качествами: у них значительно более высокая плотность, чем у массивного бруса, а допуски при подгонке на строительной площадке не превышают 5 мм, а в

железобетоне они составляют 10 мм. Такое плотное прилегание увеличивает герметичность, сокращает тепловые потери и облегчает состыковку элементов конструкции. Конструкций из CLT-панелей при высокой несущей способности относительно лёгкие: небольшой вес облегчает транспортировку, снижает нагрузку на фундамент и ускоряет процесс монтажа.

Дерево – экологически чистый материал, и поэтому является технологической и экономической альтернативой стали и бетону. Исследования показали, что многослойную древесину можно использовать для строительства домов высотой до 30 этажей, а использования смешанных конструктивных схем позволит увеличить этажность. Применяемые деревянные конструкции обладают высокой огнестойкостью, так как прессованная многослойная древесина при пожаре подвергается поверхностному обугливанню.

Потенциальные жильцы деревянных домов задаются вопросом о пожарной безопасности деревянных конструкций, аргументируя это высказыванием: «Все знают, что дерево горит, а сталь нет». В этой фразе скрывается большое заблуждение. Дерево действительно горючий материал, но его горючесть не мешает обладать массивным деревянным конструкция высокой огнестойкостью. Древесина обладает низкой теплопроводностью и может сохранять целостность структуры продолжительное время. Специально поджечь массивное бревно или толстую деревянную панель очень сложно. Но даже в случае возгорания деревянные конструкции горят медленно и по предсказуемой схеме, так при нагреве древесины до температуры 280 °С на её поверхности образуется обуглившийся слой. Этот слой медленно тлеет и является хорошей изоляцией для сердцевины дерева, так как для процесса горения необходим кислород, а обуглившийся слой препятствует его поступлению внутрь. При проведении испытаний было выяснено, что массивная древесина тлеет со скоростью 0,5–0,8 мм в минуту. То есть за 60 минут от 200 мм балки прогорит только 30–50 мм внешнего слоя. Опасность обрушения наступает примерно при температуре 500 °С, так как защитный угольный слой раскаляется и воспламеняется. Предел огнестойкости зависит от величины сечения и размеров: чем больше габариты, тем сложнее происходит возгорание и медленнее идёт процесс горения.

Если сравнивать с негорючими стальными конструкциями, получается, что массивные деревянные конструкции даже пожаробезопаснее стальных. При температуре 450–500°С теплопроводная сталь плавится и деформируется в разных направлениях, и как следствие теряет несущую способность. Необработанная огнезащитным слоем стальная конструкция обрушивается через 15 минут после начала пожара, при этом невозможно рассчитать, где именно произойдет обрушение. Основное преимущество деревянной конструкции при пожаре – это повышенная огнестойкость и предсказуемость поведения. Для предупреждения возгорания зданий из дерева производится заводская обработка конструкций антипиренами, а для нейтрализации источника – устанавливаются системы оповещения и спринклерные системы.

Рассмотрим наиболее значимые проекты высотных зданий из дерева.

В 2017 году самым высоким зданием из дерева стало студенческое общежитие Brock Commons (рис. 2.7). Расположено оно в Ванкувере, Канада.



## Рисунок 2.7 - Brock Commons, Канада

Оно представляет собой 18-этажный небоскрёб из деревянных конструкций высотой 53 м. У него простой прямоугольный план ограждающих конструкций. Новое общежитие рассчитано на проживание 404 студентов в 272 студиях и 33 апартаментах.

На данный момент самым высоким деревянным небоскрёбом является построенное в 2019 году в норвежском городе Брумундал здание Mjøstårnet («Мьёсторнет») (рис. 2.8) высотой 85,4 м.

Мьёсторнет побил рекорд канадского здания. Норвежская высотка состоит из колонн, балок и поперечных конструкций из клееного бруса. На площади 18-этажного здания разместились апартаменты, общественные пространства, отель, ресторан, офисы и бассейн.

Канадский и норвежский опыт показал: подобные сооружения требуют в три раза меньше затрат ресурсов и времени, чем строительство железобетонного небоскреба. Новая технология многослойных клееных деревянных панелей, или кратко CLT, значительно уменьшает вес постройки, но при этом обладает теплосберегающими свойствами и не выделяет в атмосферу углекислый газ, а наоборот, очищает воздух.

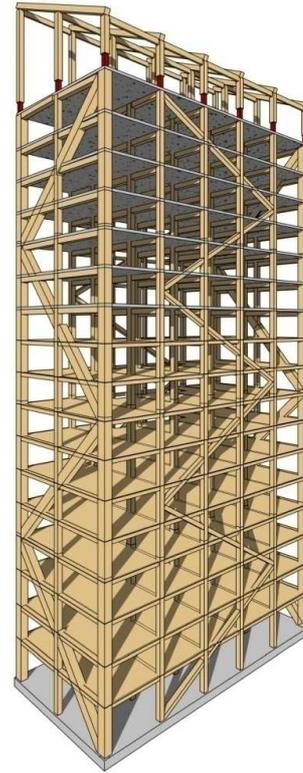


Рисунок 2.8 - Мjøstårнет, Норвегия

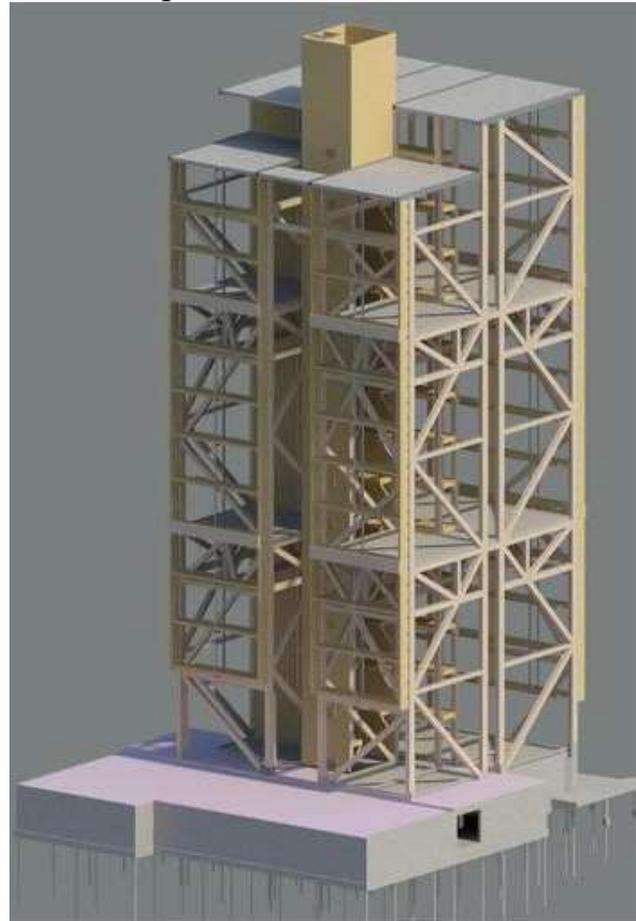


Рисунок 2.9 - Treet, Норвегия

В норвежском городе Берген в 2015 году построено 14-этажное деревянное здание Treet (рис. 2.9), высотой 52 метра. Вертикальную нагрузку несут клееные вертикальные деревянные фермы (колонны сечением 495 мм × 495 мм и 405 мм × 650 мм, раскосы – 406 мм × 405 мм), а из CLT-панелей возведены лестницы, лестничные и лифтовые шахты, стены и перекрытия. Период огнестойкости основной несущей системы (фермы) составляет 90 мин., а вторичной (CLT-панелей) – 60 мин.

Будущее деревянного строительства.

Многофункциональный комплекс Big Wood (рис. 2.10) высотой 44 этажа построят в деловом центре Чикаго. Конструктивная особенность комплекса заключается в использовании многослойной древесины. Автор проекта американский архитектор Майкл Чартерс считает, что дерево – один из лучших материалов для строительства, благодаря которому сокращаются вредные выбросы в атмосферу и создаётся здоровая среда обитания.



Рисунок 2.10 - Big Wood, Чикаго (США)



Рисунок 2.11 - Ваобаб, Париж (Франция)

Ваобаб (рис. 2.11) в Париже - 35-этажное деревянное высотное здание. Автор проекта - Майкл Грин. Его строительство планируется из перекрестно-склеиваемых панелей (CLT), которые будут производиться на заводе, а к месту доставляться готовыми комплектами. Таким образом, строительство здания будет похоже на сборку мебели, что существенно сократит трудозатраты и позволит сэкономить на монтаже.

На данный момент стоимость конструкций из CLT-панелей достаточно высокая. Важным фактором, повышающим цену, является отсутствие конкуренции. На рынке существует всего 2–3 крупных производителя таких строительных материалов, и большая доля затрат приходится на их транспортировку материалов из Австрии – основного поставщика по всему миру. Производители CLT-технологии утверждают, что будущее – за деревянными небоскрёбами. Комбинируя железобетонное ядро с деревянной вторичной несущей системой или, наоборот, деревянные стойки и балки – с монолитными перекрытиями, можно возводить здания в 25–30 и даже 40 этажей.

В 2019 году Ванкувер одобрил проект на строительство 40-этажного небоскреба Canada Earth Tower (рис. 2.12), в котором разместятся 200 квартир. Всего в Канаде на настоящий момент строится около 500

деревянных многоквартирных домов разрешенной этажности — то есть не больше 20 этажей. Для канадцев высотные деревянные конструкции не удивительны, так как некоторые породы хвойных деревьев в месте их проживания, например Ель ситхинская, достигают 100 метров в высоту.

Канада и Норвегия - не единственные страны, которые верят в перспективы деревянного высотного строительства. Сама технология CLT была придумана в Германии и Австрии и получила широкое распространение в Швейцарии.

Опыт строительства деревянных небоскребов также взяли на вооружение в Китае и Японии. В Японии, находящейся в зоне сейсмической активности, основным преимуществом деревянных конструкций видят их относительную легкость. Именно малый вес позволит разработать надежные конструкции и, возможно, обойтись без систем активного подавления подземных толчков.



Рисунок 2.12 - Проект Canada Earth Tower

Кроме того, именно в Японии планируется строительство деревянного небоскреба, способного побить существующий рекорд. Проект 70-этажного деревянного небоскреба был разработан компанией Sumitomo Forestry (рис. 2.13). Деревянный гигант станет символом внимательного отношения к экологической ситуации в стране, а также порадует жителей Токио открытыми террасами и стенами, обвитыми огнеупорными зелеными растениями.

Деревянные материалы отличают постоянство механических характеристик и довольно высокая формостабильность, что позволяет проектировать из них несущие конструкции и возводить крупные объекты. Конструкционные элементы из клееной древесины можно изготавливать с высокой точностью, что влияет и на качество отделки в зданиях, а в ряде случаев такие элементы оставляют в интерьере без всякой отделки, потому что они и так смотрятся привлекательно.

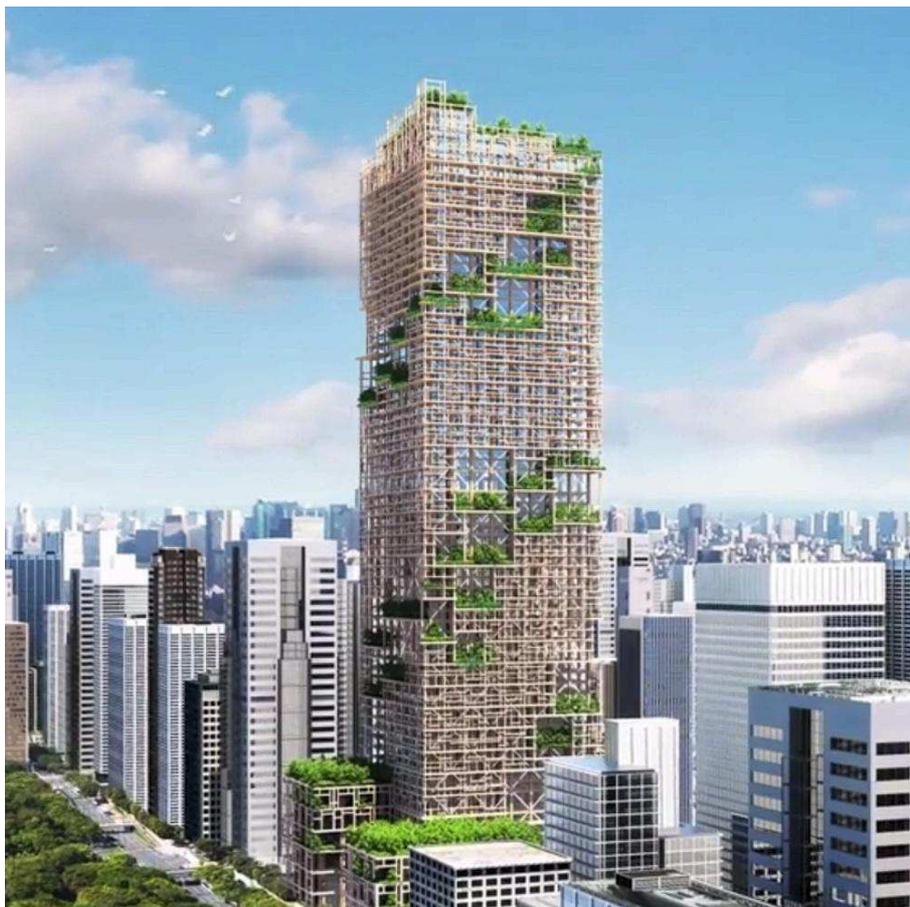


Рисунок 2.13 - Sumitomo Forestry

Несмотря на все технические достоинства деревянных конструкций они бы не получили распространения, если бы не благосклонное

отношение человека к древесине. Действительно, древесина радует глаз и создает теплую и уютную атмосферу в помещении. Массивная древесина, кроме того, регулирует климат в помещении, накапливая тепло или поддерживая прохладу и поглощая излишки влаги из воздуха.

Самым важным аргументом для человечества в пользу деревянного строительства является экологичность. Древесина - материал, возобновляемый самой природой и ею же утилизируемый; материал, который консервирует углекислоту и таким образом ослабляет воздействие парникового эффекта на климат Земли. Образно выражаясь, леса - это фабрики по производству древесины и кислорода из углекислого газа, причем работающие на солнечной энергии. По оценкам Европейской конфедерации деревообрабатывающей промышленности CEI-Bois, замещение традиционных стройматериалов древесиной предотвращает выбросы в атмосферу 1,1 т CO<sub>2</sub> на 1 м<sup>3</sup> использованных пиломатериалов; и еще около 0,9 т CO<sub>2</sub> оказываются законсервированными в конструкциях. В этом же документе приведены такие цифры: увеличение доли деревянных домов на европейском рынке на 10% в год привело бы к сокращению на 25% объемов выбросов углекислоты, закрепленных за Европой Киотским протоколом.

Но есть и нюансы в экологичности. Древесина должна быть выращена и заготовлена в лесах, сертифицированных по международным стандартам. И ни в коем случае не должна использоваться древесина незаконной вырубки, в противном случае экологичность сходит на нет. В странах Европы и Северной Америке сертификация лесных угодий широко распространена и является стандартной процедурой для компаний, работающих на рынке лесопродукции, поэтому деревообработчики и изготовители конструкций для деревянного домостроения уверены в легальности происхождения сырья.

Для производства CLT-панелей и прочих деревянных конструкций нужны деревья с большим поперечным сечением. Для этих целей хорошо подходит старый лесной массив. Таким образом, обновление лесного массива является еще одним плюсом для экологии. Старые леса, особенно в таких таежных зонах, как Канада, подвержены возгораниям. Переработка хвойных деревьев в сырье не только поддерживает здоровье леса, но и помогает городской среде взять курс на экологию.

При проектировании зданий из деревянных конструкций необходимо уделять особое внимание исключению воздействия влаги на древесину. Из-за нарушения наружной отделки или бытовых протечек внутри здания в древесину может попадать лишняя влага. В колоннах и стенах из CLT древесина работает на сжатие вдоль волокон, и изменение ее влажности почти не скажется на сечении элементов конструкций. Для панелей перекрытий из CLT ситуация другая: вследствие повышения влажности перекрытия могут разбухать или усыхать по толщине на несколько миллиметров. При опирании стен и колонн на перекрытия в здании с большой этажностью могут возникнуть большие проблемы, особенно если в разных частях здания разная влажность воздуха. В настоящий момент разработано несколько решений этой проблемы. Например, при строительстве здания Bridport House стены верхних этажей из CLT опирали на стены нижних этажей, для чего в них и в перекрытиях проделывали зубчатые вырезы. В этом случае изменение толщины плиты перекрытия под воздействием влаги не приводит к изменению параметров здания или образованию щелей в конструкциях. В канадской системе FFTT колонны и стены поэтажно устанавливаются друг на друга, а на них крепят балки из стали, на которые опираются перекрытия из CLT. Аналогичное решение, которое можно назвать каркасом оболочки, было применено при строительстве здания E3 в Берлине: балки и колонны соединяются через тяжелые стальные коннекторы, и получается, что деревянные колонны стоят друг на друге, а деревянные балки просто связывают их. Австрийская система CREE предполагает изготовление деревянно-бетонных перекрытий, бетонные края которых опираются на деревянные колонны. Таким образом, конструкция получается платформенной, то есть перекрытие является платформой для сборки следующего этажа, и деревянная часть перекрытия при усушке и разбухании не оказывает влияния на прочность и целостность конструкции. Подобное решение предполагается использовать и в американском проекте строительства 42-этажного здания Timber Tower Research Project с клееными деревянными колоннами, железобетонными балками и панелями перекрытий из CLT. Деревянные колонны и стены каждого этажа будут опираться на бетонные балки независимо от перекрестно-слоистых панелей перекрытий, вследствие чего деформаций деревянно-бетонной конструкции по высоте по причине воздействия на нее влаги не будет.

В то время, как вероятность бытовых протечек и замачивания вследствие разрушения отделочного слоя является довольно низкой, на каждом строящемся объекте строители сталкиваются с необходимостью защиты от атмосферных осадков во время монтажа. В процессе монтажа высотного здания возникает длительный период, когда деревянные конструкции оказываются открыты для воздействия атмосферных осадков. В странах с холодным или сырым климатом вероятность отрицательного воздействия влаги на деревянные конструкции и элементы строящегося дома весьма высока. А это чревато как местным расслоением клееных элементов, так и появлением грибных окрасок на древесине. Стены уже возведенных этажей отчасти защищены строительными лесами, но как быть с конструкциями строящегося этажа? В Швеции при возведении комплекса Limnologen использовали временное сооружение с тентовой крышей над объектом, которая перемещалась вверх по стальным опорам по мере роста здания. Эта вспомогательная конструкция включала в себя и кран-балку с подкрановыми путями, которая использовалась для монтажа элементов здания. Подобное решение, безусловно, усложняет процесс строительства и увеличивает капитальные затраты, но зато гарантирует качество монтажа и предотвращает воздействие влаги на деревянные конструкции.

Другим решением проблемы защиты деревянных конструкций от влаги во время строительства является поставка конструкций на объект в виде объемных модулей, которая была применена компанией Stora Enso при возведении 8-этажного дома Ruukuokka в финском г. Ювяскюля.

Сейсмостойкость высотных зданий из деревянных конструкций стоит рассмотреть отдельно. В октябре 2007 года в рамках международного исследовательского проекта в Японии на самой большой в мире платформе для испытаний на сейсмоустойчивость было возведено семиэтажное здание из панелей CLT. Толчки, создаваемые платформой, имитировали подземные толчки, соответствующие зафиксированным при землетрясении в г. Кобе в 1995 году. По результатам этих испытаний был сделан вывод: здания из перекрестно склеенных деревянных панелей обладают достаточной сейсмоустойчивостью, для того чтобы выдерживать сейсмические воздействия.

Подводя итог, современные массивные деревянные конструкции позволяют возводить безопасные и надежные высотные здания. Однако во

многих странах продолжают действовать жесткие ограничения предельной высоты деревянных зданий, не учитывающие современный уровень развития технологий.

Когда деревянные небоскребы появятся в России?

К сожалению, для того чтобы многоэтажные здания из деревянных конструкций появились в России, необходимо не только изменение нормативной базы. Для того чтобы из таких конструкций в нашей стране стали возводить многоэтажные жилые дома, необходима настоящая революция в сознании заказчиков, инвесторов, строителей и сотрудников надзорных органов.

Тем не менее определенные условия для появления зданий из CLT, пусть и не таких высоких, как за рубежом, есть. В последние годы в России возведено немало объектов, в основном офисных и коммерческих зданий, которые были сертифицированы по BREEAM и LEED - международным стандартам экологически ответственного строительства. И можно утверждать, что в будущем эта тенденция будет только нарастать, что приведет к формированию спроса на материалы и технологии многоэтажного деревянного строительства.

#### **2.4. Анализ применения разных материалов по высоте**

Для современных зданий высота является важным фактором. На нее влияет множество факторов: климатические условия, окружающая застройка и применяемые материалы.

Деревянные здания не отличаются большой высотой. Самое высокое здание - Mjøstårnet «Мьёсторнет» (рис. 2.8), оно построено в Норвегии в 2019 году. Его высота всего 85.4 м, что немного по сравнению со стальными и железобетонными небоскребами. Основную несущую конструкцию составляет крупногабаритный клееный брус, а стены выполнены из CLT-панелей.

Но для деревянных домов высота не главный параметр, они строятся из соображений экологичности и комфорта жителей. Дерево – экологический чистый материал, а массивная древесина регулирует климат в помещении, накапливая тепло или поддерживая прохладу и поглощая излишки влаги из воздуха.

Технология несущего стального каркаса была впервые применена в Чикаго в 1885 году и активно применяется по сей день. Одним из самых известных зданий, построенных по такой технологии, является «Эмпайр Стейт Билдинг» (рис. 1.10), построенный в 1931 году. Его высота 381 метр.

Строители высотных зданий быстро поняли, что у металлического каркаса много нюансов и ограничений, особенно это стало очевидно при возведении лифтовых шахт. Так, появилась современная каркасно-ствольная конструктивная схема. Лифтовые шахты выполняются в центральном железобетонном ядре, а по периметру располагаются стальные колонны каркаса. Введение ствола жесткости помогло существенно увеличить боковую жесткость здания за счет взаимодействия рамного каркаса со стволом. Такое решение позволило значительно увеличить высоту небоскребов.

Железобетонный каркас характерен для жилых высотных зданий, так как позволяет располагать несущие колонны с большой вариабельностью шагов, что удобно при планировке помещений. Железобетонный каркас лежит в основе большинства высотных зданий Москвы высотой 100-200м.

Для современных сверхвысоких зданий характерным является сочетание стальных и бетонных технологий. Так, при возведении самого современного небоскреба России – Лахта центра высотой 462 метра - использовались сталежелезобетонные колонны и перекрытия. Они состоят из стальных сердечников крестового сечения, выполненных из двух двутавров и обетонировки высокопрочным бетоном. Перекрытия башни выполнены по несъемной опалубке из профилированного листа с опиранием на металлические балки.

В современных небоскребах железобетонные конструкции стали неотъемлемой частью конструктивного решения здания, а в самых прогрессивных высотных зданиях применяется сталежелезобетон, берущий лучшее от обоих материалов.

## **Выводы по главе II**

На сегодняшний день в крупных городах строительство высотных жилых зданий получает всё большее развитие. Конструирование высотных зданий имеет свою специфику с точки зрения объемной формы, пропорций, выбора конструктивных систем и элементов зданий.

Конструктивные решения высотных зданий весьма разнообразны. Основные схемы конструктивных систем: а - рамно-каркасная; б - каркасно-диафрагмовая; в - каркасно-ствольная (ядровая); г - коробчато-ствольная (ядро-оболочковая); д - каркасно-ствольная; е - коробчатая (оболочковая); ж - перекрестно-стенная (рис. 2.14).

Одной из важных задач, решаемых при проектировании, является выбор материала несущих конструкций. Каждый материал обладает своими характерными свойствами, преимуществами и недостатками, поэтому окончательное решение принимают путём отбора и оценки множества критериев. В качестве объективных критериев можно использовать физико-механические свойства, конструктивные качества, технологию возведения, технико-экономические показатели, эстетические требования.

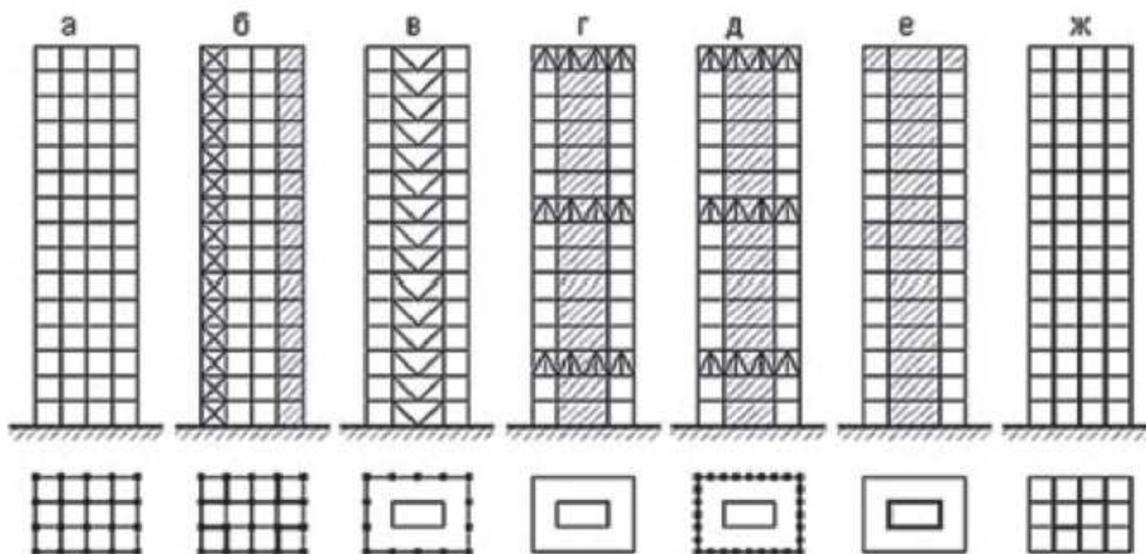


Рисунок 2.14 - Основные схемы конструктивных систем

Высотные жилые здания со стальными перекрытиями, вертикальными и боковыми структурными элементами из стали сейчас строят сравнительно редко. Большинство небоскребов возводится с использованием различного рода композитов, железобетона или совмещения стальных и бетонных технологий. Тем не менее исключительная прочность стального каркаса создала особый узнаваемый архитектурный стиль, примеры которого еще долго будут радовать глаз ценителей искусства.

Применение железобетона в качестве основного конструкционного материала для строительства высотных жилых домов вполне обосновано по ряду причин:

- значительная прочность бетона, высокий модуль упругости материала, способствующий обеспечению высокой жесткости конструктивной схемы в целом, повышение безопасности здания в случае действия высоких температур (при пожарах);

- при проектировании высотных зданий с ядровой конструктивной схемой следует рассмотреть способы создания выносных аутригерных конструктивных элементов, повышающих жесткость здания;

- применение высокопрочного и сверхвысокопрочного бетона при возведении высотных зданий является перспективным направлением: уменьшает размеры сечений элементов конструкций, снижает массу железобетонных элементов, уменьшает расход арматурной стали. Особенно эффективно применение высокопрочных бетонов в комбинации с преднапряжением арматуры, включая монолитные диски перекрытий;

- технология строительства высотных зданий базируется на применении новых опалубочных технологий, специальных самоподъемных опалубочных систем и современных средств механизации.

Растущая популярность деревянных многоэтажек обусловлена, в первую очередь, очевидно, значительным прогрессом в изготовлении конструкций из древесины и древесных материалов. Прежде всего - из перекрестно склеенных панелей, CLT (Cross Laminated Timber).

Минусы у строительства из деревянных конструкций:

- Стоимость высотного деревянного здания не может конкурировать со стоимостью здания из бетона.

- Конструкции из деревянных элементов ограничивают свободу планировочных решений, поскольку требует увеличения числа несущих элементов и уменьшения пролета.

- Деревянная конструкция дома чувствительна к протечкам, которые характерны для многоквартирных домов.

- Деревянные дома подвергаются большему риску разрушения во время строительства.

- В индустрии массивных деревянных конструкций низкая конкуренция, что не позволяет обеспечить конкурентные цены. В целом

развитие высотных деревянных конструкций сильно отстает от стали и бетона.

Плюсы строительства из деревянных конструкций:

- Небольшой вес деревянных конструкций облегчает транспортировку, снижает нагрузку на фундамент и ускоряет процесс монтажа.

- Дерево – экологический чистый материал, и поэтому является технологической и экономической альтернативой стали и бетону.

- Массивная древесина регулирует климат в помещении, накапливая тепло или поддерживая прохладу и поглощая излишки влаги из воздуха.

Конечно же, о переходе к массовому высотному деревянному строительству речи не идет, но для уникальных проектов дерево - интересный и перспективный материал.

Подводя итог, железобетон и сталежелезобетон - наиболее перспективный материал для строительства жилых высотных зданий, так как обладает высокой прочностью, большой вариативностью расположения несущих конструкций и высокой огнестойкостью.

Также несущие конструкции из железобетона позволяют реализовывать самые разные конструктивные системы и подстраивать форму здания под эстетические требования, что наиболее важно с архитектурной точки зрения.

### **ГЛАВА III. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ СИСТЕМ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ**

Обоснованность применения высотного строительства в современных городах России все еще остается спорным вопросом. И у каждой стороны есть свои аргументы. Противники считают небоскребы необоснованно дорогими, некомфортными для проживания и перегружающими городскую инфраструктуру. А сторонники говорят о видовых квартирах, развитии архитектуры и строительных конструкций, самых современных системах безопасности и финальным доводом приводят, что высотные объекты показывают величие страны. Все они по-своему правы. Ответ на данный спорный вопрос будет получен только со временем, а пока необходимо, чтобы небоскребы строились и развивались.

Из-за особенностей местного рынка недвижимости зарубежный опыт проектирования небоскребов малоприменим в России. Жилые небоскребы в Америке - это дома с большими площадями и крайне высокой стоимостью квартир. В России часто можно встретить студии и небольшие апартаменты в высотных жилых домах, так как девелоперу выгоднее продавать много небольших квартир. Как следствие - теряется уникальность высотного строительства, перегружаются инженерные сети, и для создания более интересного предложения ищутся пути экономии на строительстве. Российские застройщики привыкли строить много типовых жилых домов, они умеют их строить экономически эффективно, но такой опыт невозможно переложить на высотное строительство. Небоскребы должны обладать статусом элитного жилья и иметь в своем составе большие квартиры, много лифтов и ограниченную инфраструктуру, рассчитанную на потребности жильцов дома.

Отрасль высотного строительства в России сравнительно молода и не имеет такого опыта, как зарубежная. Для проектирования, разработки архитектурной формы и расчета строительных конструкций все еще часто приходится привлекать иностранных специалистов.

На данный момент США уступает свою ведущую роль в строительстве высоток странам Азии и Ближнего Востока. Стремление построить самое высокое здание в этих странах обусловлено как необходимостью в связи с земельным кризисом и густонаселенностью отдельных районов, так и приоритетами национального престижа.

Строительство небоскребов в США и Европе регулируется на уровне муниципалитетов, поэтому мы видим квартальную застройку на местах, приспособленных для высотного строительства. Примером тому служит Манхэттен (рис. 3.1), ставший столицей небоскребов благодаря своей геологии. В странах Азии и Ближнего Востока, наоборот, прослеживается тенденция покорения природы. Как пример можно вспомнить искусственный остров, созданный специально для отеля Бурдж аль Араб, Дубай (рис. 3.2) или Тайпей-101 (рис. 3.3), Тайвань, возведенный специально в неблагоприятном районе, чтобы показать насколько велики возможности строительных конструкций. Такое прослеживается потому, что в этих странах силен интерес лидеров правящего режима, стремящихся построить самое высокое здание как символ процветания страны.



Рисунок 3.1 – Манхэттен, Нью-Йорк



Рисунок 3.2 - Бурдж аль Араб



Рисунок 3.3 - Тайпей – 101

Зачастую небоскребы не строятся отдельно, а создают высотные города. Это объясняется удачным географическим положением города. Между строителями двух небоскребов, строящихся недалеко друг от друга, создается конкуренция, каждый старается построить еще выше и приобрести особый статус. Например, так было во время строительства Крайслер билдинг (рис. 3.4) и банка Манхэттена (рис. 3.5). До последнего проектировщики держали высоты объектов в строгом секрете, а по итогу Крайслер билдинг победил за счет шпиля, увенчавшего крышу небоскреба.



Рисунок 3.4 - Крайслер Билдинг



Рисунок 3.5 - Банк Манхэттена

Больше всего небоскребов проектируются как офисные здания. Такая тенденция объяснима желанием крупных компаний владеть объектом, показывающим статус организации, и получать мировую славу с помощью уникального объекта, к которому будет приковано внимание и, возможно, он даже станет туристической достопримечательностью. В последнее время набирают популярность многофункциональные высотные здания, они совмещают в себе как офисные, так и общественные функции, а иногда даже жилые. В целом жилые небоскребы скорее редкость, чем практика, за исключением отелей. По разным оценкам жилые дома составляют одну пятую часть построенных небоскребов. Как правило, эти дома не гонятся за самой большой высотой, а сражаются за качество жилых метров, оснащенность инженерными системами и комфортом проживающих. А также стараются следить за обоснованностью конструктивных решений, чтобы цена строительства не стала слишком высокой.

В частности, проектировщики из Америки выяснили, что экономически эффективными являются здания до 70 этажей. Выше затраты на обеспечение конструктивной жесткости и нормальное функционирование инженерных систем увеличиваются в разы. Но как мы видим из мировой практики самые известные небоскребы - это высокие, необычные здания, при строительстве которых рациональное использование денежных средств стояло не на первом месте.

Учетом строительства высотных объектов занимается международная организация – Совет по высотным зданиям и городской среде. Этот совет вывел определение здания как объекта, созданного для проживания, ведения бизнеса или производства. Основным критерием организации является количество этажей. Высота здания измеряется от уровня главного входа до шпиля. Телевизионные антенны в высоту здания не включаются.

Развитие технологий и строительных материалов, возможности современного расчета и проектирования строительных конструкций дают возможность создавать высокоэффективные здания любых форм и размеров. Еще в начале 1990-х годов небоскребы высотой 600 метров казались чем-то невообразимым. Сейчас такие здания принимают конкретную форму и воплощаются в жизнь. Основная тенденция при строительстве высотных зданий заключается не только в повышении этажности, но и в повышении надежности и безопасности, а также экологичности зданий.

Самой новой задачей, поставленной перед проектировщиками, является обеспечение надежности конструкций всего здания даже при обрушении отдельных компонентов. Прочность, надежность, экологичность, обоснованность архитектурной формы и функциональность - именно эти параметры будут самыми главными при строительстве высоток будущего.

На сегодняшний день в мировом высотном домостроении наблюдаются следующие тенденции:

1. Увеличение высотности зданий.

На текущий момент 10 самых высоких зданий мира построены в последнем десятилетии. Мировой рекорд высоты принадлежит зданию Бурдж-Халифа (рис. 3.6) высотой более 800 м, построенному в городе Дубай в 2010 году. Но его активно догоняют. На втором месте Шанхайская башня (рис. 3.7) 632 м, построена в 2015 году, на третьем - Королевская часовая башня (рис. 3.8) 601 м, построена в Мекке в 2012 году. Самым высоким небоскребом из построенных в 2020 году является Башня Central Park (рис. 3.9) высотой 472 м в городе Нью-Йорк, в 2019 году 530-ти метровый Тяньцзиньский финансовый центр (рис. 3.10) и 462-х метровый Лахта Центр (рис. 3.11) в городе Санкт- Петербург.

Все эти небоскребы показывают, что стремление покорять высоту еще только набирает обороты, и в ближайшем будущем мы увидим много сверхвысоких зданий.



Рисунок 3.6 - Бурдж-Халифа



Рисунок 3.7 - Шанхайская башня



Рисунок 3.8 - Королевская часовая башня



Рисунок 3.9 - Башня Central Park



Рисунок 3.10 - Тяньцзиньский финансовый центр



Рисунок 3.11 - Лахта Центр

2. Появление нового типа небоскреба - многосекционное жилое высотное здание.

Многосекционные жилые дома сильно отличаются от односекционных небоскребов. Многосекционные дома значительно ниже своих конкурентов башенного типа. Так происходит, потому что такой тип высотных зданий представляет собой несколько секций, соединенных друг с другом. Такая конструкция получается вытянутой в плане и достаточно массивной, как следствие происходит значительное увеличение ветровой нагрузки на дом. Поэтому строительство таких домов большой высоты нецелесообразно. Но такой тип небоскребов хорошо подходит для жилого строительства, так как слишком большая высота является негативным фактором для постоянного проживания. В таких домах можно разместить много квартир, благодаря чему дорогостоящая земля крупных мегаполисов будет использоваться максимально эффективно.

В мировом строительстве можно найти много примеров таких домов, разберем высотные комплексы Москвы. ЖК «Авеню 77» (рис. 3.12) - монолитный железобетонный дом многосекционного типа. Его высота составляет 149,7 м, 39 этажей, построен в 2007 году. ЖК «Дом в Сокольниках» (рис. 3.13) высота 146,9 м год постройки 2009; ЖК «Континенталь» (рис. 3.14) 184 м, 2010 г.



Рисунок 3.12 - ЖК «Авеню 77»



Рисунок 3.13 - ЖК «Дом в Сокольниках»



Рисунок 3.14.- ЖК «Континенталь»

Часто в многосекционных жилых домах самой высокой является лишь одна из множества секций. Ярким представителем таких архитектурных решений являются ЖК «Дом на Мосфильмовской» (рис. 3.15) высотой 213 м, построенный в 2012 г. А также одно из самых высоких жилых зданий в Европе - «Триумф Палас» (рис. 3.16), построенный в 2006 году, высота со шпилем составляет 264,1 м.

Как видно из примеров многосекционные жилые дома не отличаются большой высотой. Их преимуществами являются сравнительно простая конструктивная схема, которая не ограничивает фантазию архитектора и позволяет создавать объекты самых разных форм и архитектурных стилей, а также количество квартир. Так, в ЖК «Авеню 77» 1520 квартир, а в Триумф Палас - 987 квартир.

Безусловно, новый тип небоскреба - многосекционное жилое высотное здание - прижился в России и продолжает развиваться. Уже в ближайшем будущем мы увидим не только множество домов в Москве, но и распространение по всей территории страны.



Рисунок 3.15 - ЖК «Дом на Мосфильмовской»



Рисунок 3.16 - Триумф Палас

3. Развитие многофункциональных высотных зданий, имеющих в своей структуре развлекательные, офисные, торговые, а также жилые функции.

Помещения различного назначения в составе небоскреба размещаются с самого начала их строительства. Такие принципы функционального деления предложил ещё Луис Генри Салливан в конце XIX века. Однако небоскребы раннего периода и даже многие современные небоскребы преимущественно офисного типа. Такая тенденция легко объяснима. Строительство высотного здания - очень дорогостоящее занятие, а собственниками небоскребов являются крупные международные компании, которые размещают в построенных зданиях офисы своих организаций. Тем не менее собственники понимали, что небоскреб служит не только площадью для размещения сотрудников, но и знаковым архитектурным объектом в городе, где он построен. А здание с красивой архитектурой и уникальной высотой всегда будет объектом повышенного внимания у туристов, поэтому наиболее часто можно встретить соседство торговых помещений на первом этаже или в стилобате и офисных на последующих этажах.

Наряду с лаконичным соседством торговых и офисных помещений существуют высотные здания, включающие в себя всевозможные функции. Самым известным является Бурдж-Халифа (рис. 3.6) который также называют городом в городе. Жилые апартаменты, офисы, отели, рестораны, обсерватория, смотровая площадка, фитнес залы и бассейны - все это поместилось внутри самого высокого небоскреба в мире.

Еще одной удачной связкой функций являются жилые высотные здания с полным комплексом обслуживания для проживающих. Например, «Триумф Палас» (рис. 3.16). В подземной части здания находится 5-ти этажный паркинг. Во внутреннем дворе большой парк, а в самом доме - аквапарк, спортивный зал, бассейны, кинозал, ресторан, детский клуб и даже медицинский центр. В небоскребе есть все необходимое, и при желании можно долгое время не покидать территорию дома.

Многофункциональные высотные здания активно развиваются. Проектировщики придумывают новые, наиболее удачные сочетания функций в одном небоскребе.

4. Переход от строительства отдельных зданий к строительству высотных комплексов и высотной застройки кварталов и районов.

Начало этой тенденции было положено еще в 1930-е годы в Нью-Йорке при строительстве Рокфеллерского центра (рис. 3.17). Комплекс включает в себя 14 высотных зданий и образует отдельное пространство единого стиля на Манхэттене.

В 1970 году Лондонский Сити (рис. 3.18) становится деловым центром, что приводит к строительству большого количества небоскребов. На сегодня в одном месте сконцентрированы 13 зданий высотой более 100 м.

На территории России застройка высотными зданиями преимущественно точечная, за исключением комплекса Москва-Сити (рис. 3.19). В 1993 году началась застройка участка Московского международного делового центра, когда стало очевидно, что историческая часть столицы не справляется с нагрузкой административно-делового и культурного центра. Москва-Сити дает городу возможность получить большое количество офисных площадей высокого класса. На данный момент на территории расположились 19 небоскребов и ведется

строительство еще двух. В столичном деловом центре есть все для бизнеса, досуга и проживания.

Квартальная застройка небоскребами в России и в мире несомненно будет развиваться. Большие надежды подает строящийся с 2006 года Екатеринбург-Сити (рис. 3.20). Основной особенностью делового квартала, аналогичного московскому, будет его местоположение. Так Екатеринбург-Сити является самым северным высотным кварталом.



Рисунок 3.17 - Рокфеллерский центр

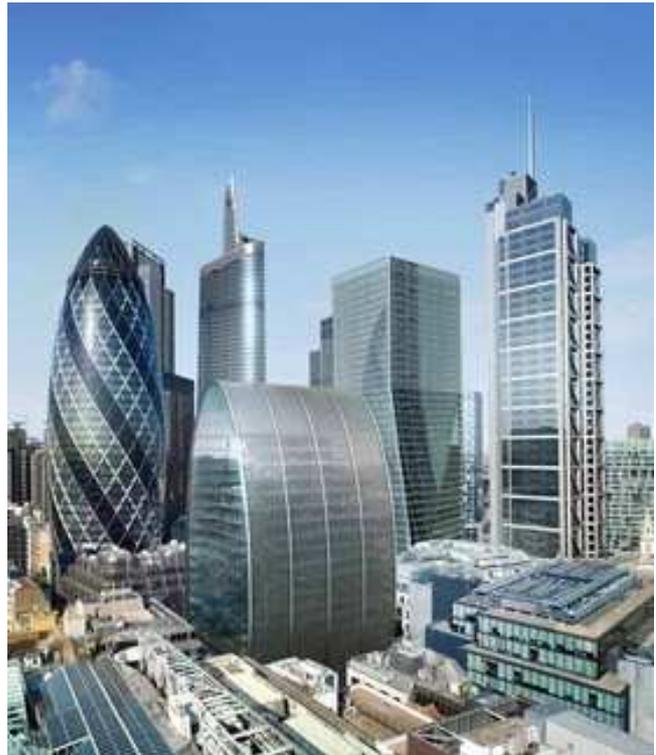


Рисунок 3.18 - Лондонский Сити

5. При строительстве высотных зданий сложилась своя функциональная структура.

Первые принципы функционального деления предложил ещё Луис Генри Салливан в конце XIX века. В последующем они модернизировались и пришли к такому виду:

- на первом этаже размещаются входы в здание, торговые помещения, места приема пищи, развлекательные комнаты, кинотеатры, бассейны, спортивные залы;

- в этажах, расположенных ниже уровня земли, размещаются парковки, помещения технического обслуживания здания, помещения инженерного оборудования;
- на верхних типовых этажах размещают офисы, жилые апартаменты;
- на самом верхнем этаже могут располагаться рестораны, пентхаусы, смотровая площадка, радиостудия, обсерватория;
- непосредственно на крыше может быть смотровая площадка, бассейн, площадка для вертолетов.



Рисунок 3.19 - Москва-Сити



Рисунок 3.20 - Екатеринбург-Сити

6. Переход от стального каркаса к железобетонным и сталежелезобетонным конструкциям.

В конце XIX века в Чикаго активно начинает развиваться высотное строительство. Это стало возможно благодаря распространению стального проката, который используется для стального каркаса. Таким образом, было построено немало высотных зданий. По мере развития высотного строительства стало понятно, что стальной каркас теряет эффективность при высоте более 300 м, а также требует больших затрат на огнезащиту строительных конструкций.

В середине XX века для повышения устойчивости стальной каркас стали комбинировать с железобетонным ядром жесткости. Сегодня идея железобетонного ядра жесткости, возводимого, как правило, при помощи самоподъемной опалубки, лежит в основе почти всех современных небоскребов. Железобетонные конструкции применяются в перекрытиях стен лифтовых шахт, в наружных и внутренних стенах, фундаментах.

Одним из самых современных небоскребов в России по конструктивному решению является Лахта центр (рис. 3.11). На его примере хорошо видно совмещение железобетонных и стальных технологий.

Основным несущим элементом башни является центральное железобетонное ядро (рис. 3.21). Оно воспринимает вертикальные и горизонтальные нагрузки, а также кручение, вызываемое формой здания, и передает их на фундамент.

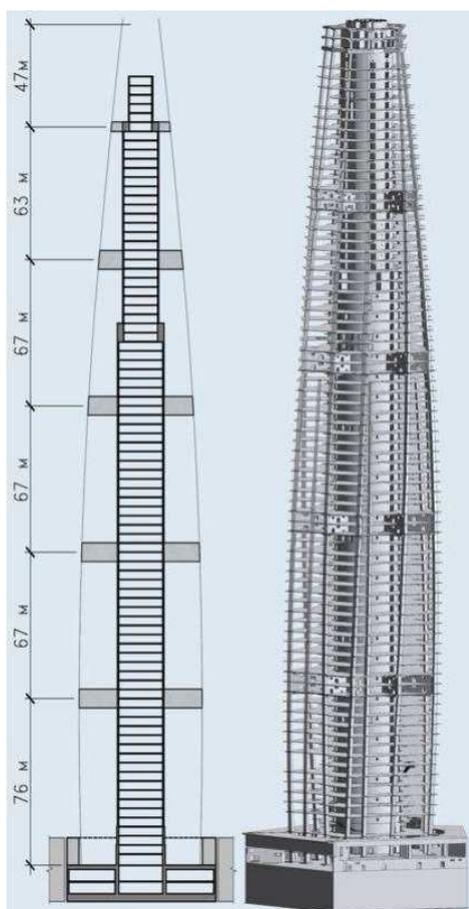


Рисунок 3.21 – Схема несущих конструкций Лахта центра

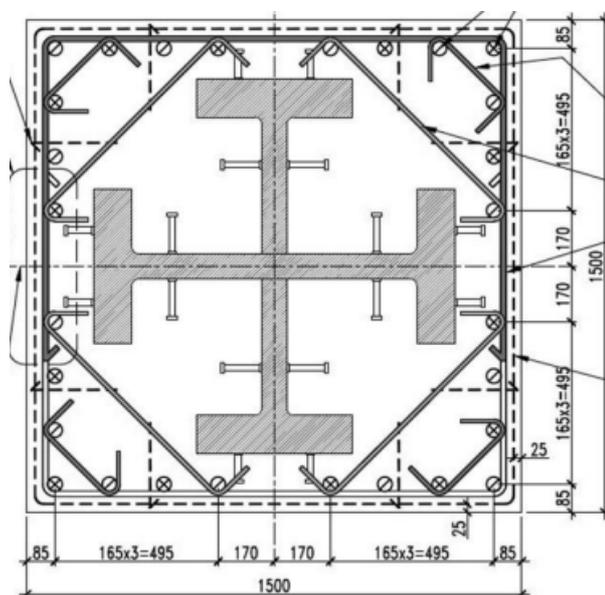


Рисунок 3.22 - Сечение сталежелезобетонной колонны

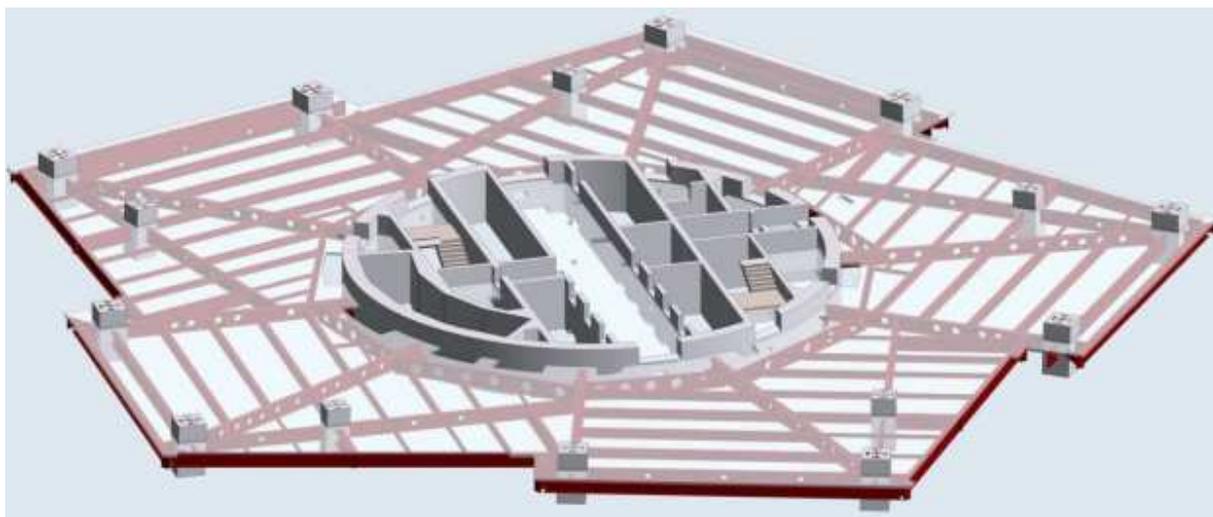


Рисунок 3.23 – Фрагмент сталежелезобетонного перекрытия

Сталежелезобетонные колонны (рис. 3.22), расположенные по периметру башни, участвуют в восприятии вертикальных и горизонтальных нагрузок за счет соединения с центральным ядром. Они состоят из стальных сердечников крестового сечения, выполненных из двух двутавров и обетонировки высокопрочным бетоном. Перекрытия башни (рис. 3.23) выполнены сталежелезобетонными по несъемной опалубке из профилированного листа с опиранием на металлические балки.

В современных небоскребах железобетонные конструкции стали неотъемлемой частью конструктивного решения здания, а в самых прогрессивных высотных зданиях применяется сталежелезобетон, берущий лучшее от обоих материалов.

7. Применение наиболее рациональной плитно-свайной конструкция фундамента и ее модернизация.

Комбинированный свайно-плитный фундамент — это современный фундамент, в основе которого лежат плита и связанные с ней железобетонные сваи. Сваи под небоскребы в большинстве случаев являются буронабивными, то есть изготавливаются путем бурения скважин нужного диаметра и глубины и последующего их заполнения элементами арматуры и бетонным раствором.

Выбор типа фундамента напрямую зависит от грунтов, залегающих на строительной площадке. Иногда сваи пронизывают слои мягкого грунта

и достигают на определенной глубине твердой скальной породы, давая твердую опору фундаменту. Но, например, в Аравии даже на глубине 50 м породы мягкие, с низкой степенью цементации. Сваи, подпирающие плиту фундамента, являются «висячими», то есть нагрузка от здания передается верхним слоям грунта через плиту и нижним — в основном через трение поверхностей свай и грунта.

В последнее время для строительства очень высоких зданий набирает популярность коробчатый фундамент. Так, при строительстве Лахта центра (рис. 3.11) были рассчитаны оба типа фундамента. Первоначальные расчеты фундаментной плиты (без образования коробчатого фундамента) показали, что с точки зрения равномерности осадок недостаточно традиционной фундаментной плиты толщиной даже 7-8 метров. Осадка под ядром составляла порядка 180 мм, тогда как на периферии величина осадки была около 60 мм. Первым шагом в решении возникшей проблемы было распределение нагрузок с зоны ядра на периферию за счет диафрагм жесткости. Вторым логичным шагом стало появление верхней плиты, объединяющей всю систему в единый коробчатый фундамент, обеспечившей более экономичное решение. Расчеты показали, что такой фундамент обладает высокой жесткостью (разность осадок между зоной ядра и периферией не превышает 25-30 мм) и успешно справляется с задачей снятия и равномерного распределения нагрузки с ядра на равносторонний пятиугольник подземной части здания.

Фундаменты современных небоскребов не менее технологичны, чем надземные конструкции. Для зданий небольшой высоты наиболее рациональна плитно-свайная конструкция фундамента, но для сверхвысоких небоскребов более эффективен коробчатый фундамент.

8. При гибкости здания (отношение высоты к меньшему размеру в плане) более 8 применяются специальные мероприятия для повышения жесткости здания.

Если в пропорции высота небоскреба / поперечное сечение ядра значение больше 8, в конструкцию вводятся аутригеры. Это - плоские или пространственные конструкции - раскосные или безраскосные фермы, придающие конструкции горизонтальную жесткость и препятствующие прогрессирующему обрушению.

Например, в комплексе «Федерация» в ММДЦ «Москва-Сити» на 120-ти метровой высоте более высокого небоскреба «Восток» (рис. 3.24) смонтирована аутригерная рама – своеобразное кольцо жесткости. Всего в небоскребе четыре аутригерных этажа. Это прослеживается на схеме функционального зонирования башни (рис. 3.27), в зоне расположения аутригерных этажей находятся технические этажи.

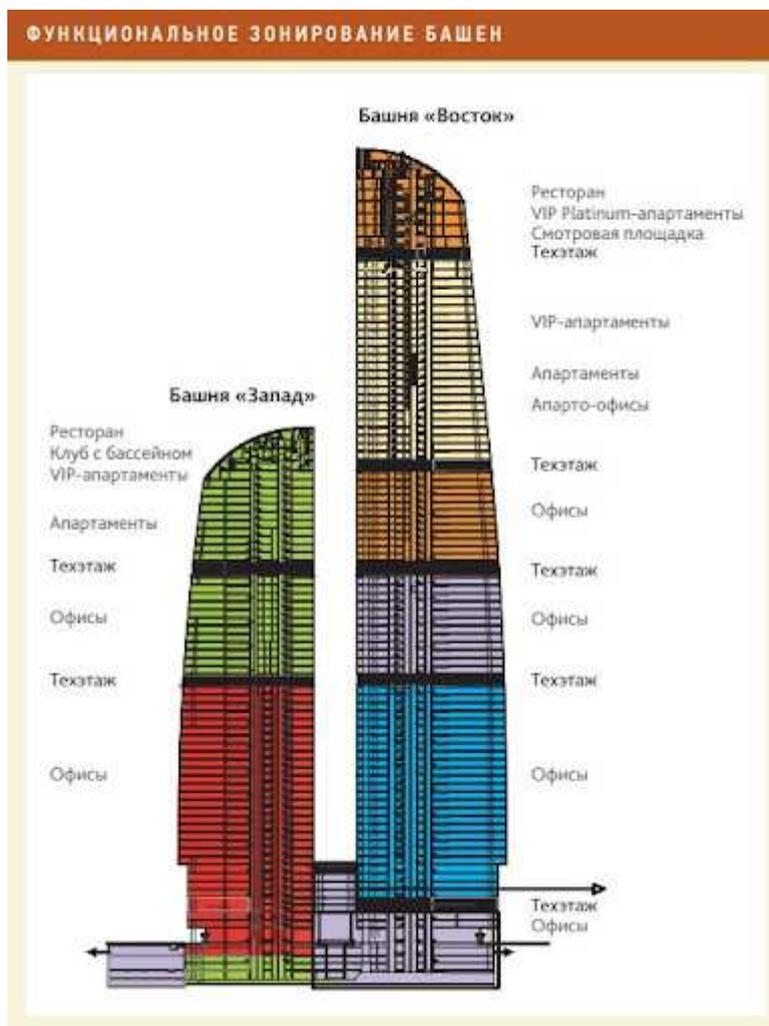


Рисунок 3.27 – Комплекс «Федерация». Схема расположения аутригерных этажей

В сеульском 555-метровом гиганте Lotte World Tower (рис. 3.25) два аутригерных уровня (рис. 3.28). Они соединяют ядро с восьмью периметральными суперколоннами. Эти колонны противостоят опрокидывающему моменту, принимают на себя ветровые и сейсмические нагрузки, которые распределяются на стальные аутригерные фермы.

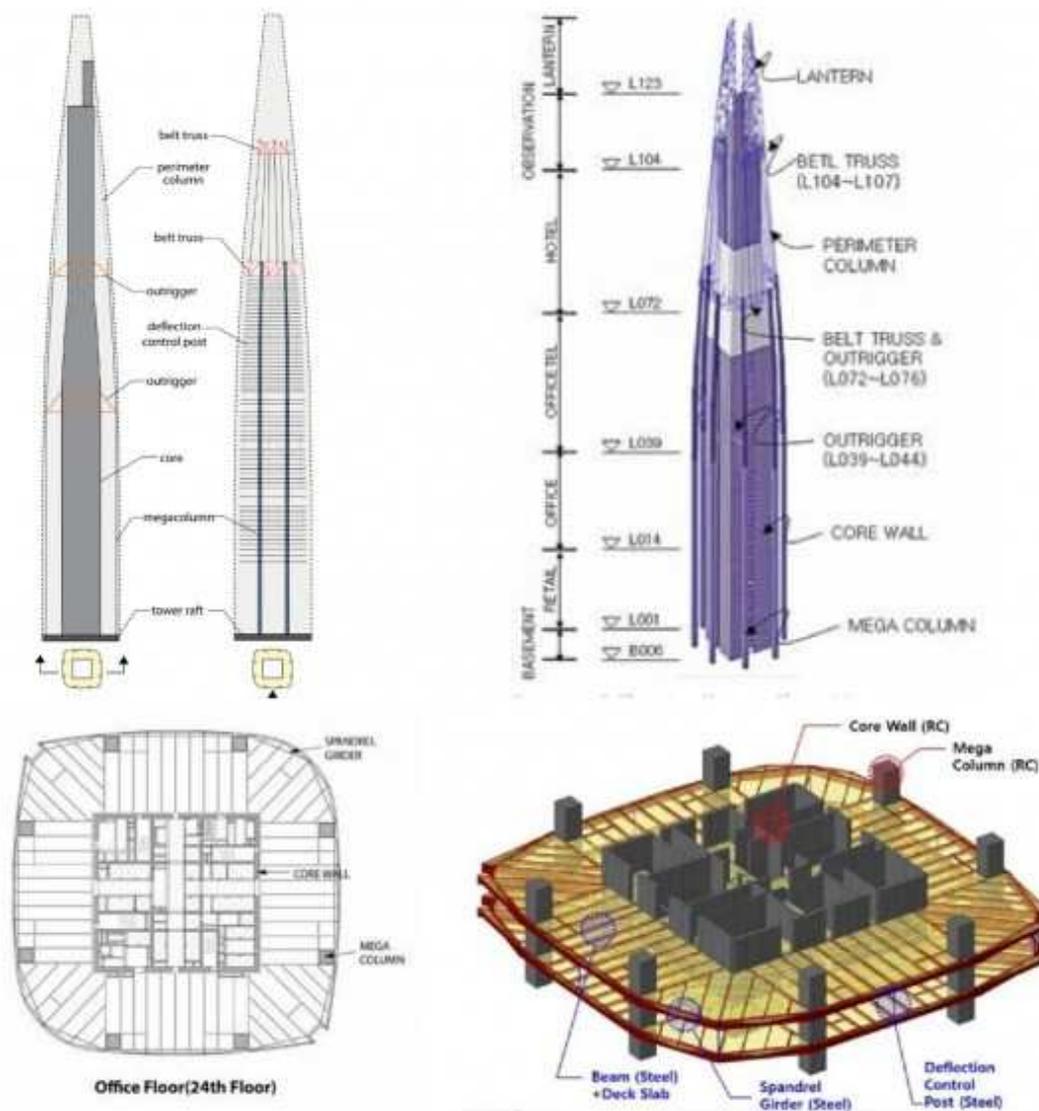
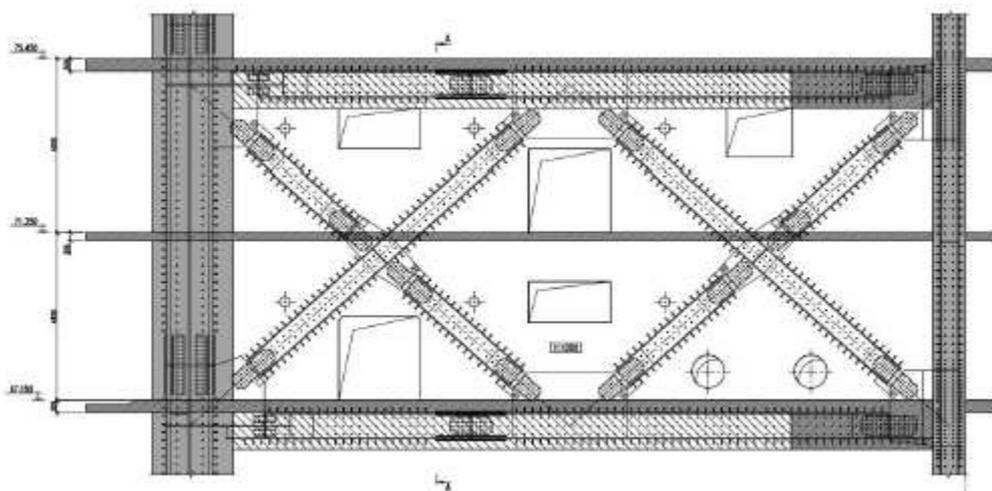
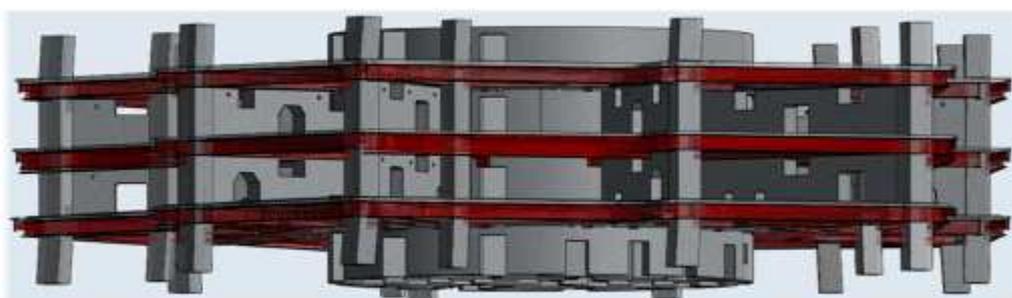


Рисунок 3.28– Lotte World Tower Схема расположения аутригерных этажей

В петербургском Лахта Центре (рис. 3.11) четыре аутригерных уровня. Через каждые 16 этажей от центрального ядра горизонтально располагаются распорные элементы – десять мощных консолей, которые передают нагрузку на внешние колонны (рис. 3.21, 3.29). Система постоянно балансирует между растяжением и сжатием.



Конструкция аутригера



3D вид аутригерного уровня

Рисунок 3.29– Лахта Центр. Схема конструкций аутригерного этажа

В некоторых сверхвысоких небоскребах дополнительно применяются демпфирующие устройства. Например, в 432 Парк-авеню (рис. 3.26), Нью-Йорк, для снижения воздействий ветровых нагрузок архитекторами и инженерами было принято решение - здание по высоте было разделено на шесть секций, отделенных друг от друга техническими этажами (высотой в два этажа каждый), которые не имеют остекления. На последних трех этажах был размещен инерционный демпфер весом 1300 тонн.



Рисунок 3.24 –  
Комплекс Федерация  
Башни Запад, Восток



Рисунок 3.25 - Lotte  
World Tower



Рисунок 3.26 - 432 Парк-  
авеню

Из всего вышесказанного следует, что мировых тенденций немало и каждая развивает высотное строительство в своем направлении. При всём этом наблюдается рост этажности зданий и применяются всё более смелые дизайнерские решения, которые поражают своей формой и фактурой. С каждым новым объектом высотного строительства архитекторы и инженеры продвигаются к приоритетной цели объединить комфорт, безопасность и эстетику с рациональными технологическими и конструктивными решениями.

## Выводы по главе III

На сегодняшний день в мировом высотном домостроении наблюдаются следующие тенденции:

1. Увеличение высотности зданий.
2. Появление нового типа небоскреба - многосекционное жилое высотное здание.
3. Развитие многофункциональных высотных зданий, имеющих в своей структуре развлекательные, офисные, торговые, а также жилые функции.
4. Переход от строительства отдельных зданий к строительству высотных комплексов и высотной застройки кварталов и районов.
5. При строительстве высотных зданий сложилась своя функциональная структура:
  - на первом этаже размещаются входы в здание, торговые помещения, места приема пищи, развлекательные комнаты, кинотеатры, бассейны, спортивные залы;
  - в этажах, расположенных ниже уровня земли, размещаются парковки, помещения технического обслуживания здания, помещения инженерного оборудования;
  - на верхних типовых этажах размещают офисы, жилые апартаменты;
  - на самом верхнем этаже могут располагаться рестораны, пентхаусы, смотровая площадка, радиостудия, обсерватория;
  - непосредственно на крыше может быть смотровая площадка, бассейн, площадка для вертолетов.
6. Переход от стального каркаса к железобетонным и сталежелезобетонным конструкциям.
7. Применение наиболее рациональной плитно-свайной конструкция фундамента и ее модернизация.
8. При гибкости здания (отношение высоты к меньшему размеру в плане) более 8 применяются специальные мероприятия для повышения жесткости здания.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В научно-исследовательской работе рассмотрена история развития высотного строительства в России и зарубежных странах. Выявлены особенности высотного строительства в разных странах мира. Рассмотрены особенности конструктивного решения высотных жилых зданий. Выявлены особенности конструктивного решения высотных зданий из металла, железобетона и дерева. Сформулированы современные тенденции развития высотного домостроения.

Развитие высотного строительства в настоящее время является актуальным направлением как в России, так и во всех крупнейших странах. В эпоху постиндустриального общества все больше и больше внимания уделяется сфере услуг, администрированию, финансам. Такой тренд развития вызывает высокую потребность в площадях для размещения компаний, занятых в этой сфере. Непрерывный подъем цен на земельные участки под строительство, особенно в деловых центрах, и определенные условия сохранения исторической застройки в городах значительно усложняют развитие офисных агломераций вширь. Высотные здания направляют вектор роста по вертикали, тем самым оптимизируя землепользование и формируя многофункциональные комплексы, включающие в себя не только офисы, но и жилые, гостиничные, торговые, развлекательные помещения. Кроме того, такого рода постройки являются показателем престижа, высокого уровня технологий и экономической мощи как города, так и государства в целом.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Генералов В.П. Особенности проектирования высотных зданий / Генералов В.П. // Самарский государственный архитектурно-строительный университет. – 2009.
2. Исаков, А.И. Высотное строительство в России / А.И. Исаков // Синергия наук. – 2016. – № 6.
3. Викторова, Л.А. Высотные здания-плюсы и минусы строительства / Л.А. Викторова // Архитектура и строительство России. – 2012. – № 10.
4. Зуева, П. П. Американский небоскреб: истоки и эволюция : дис. канд. архит. наук / П. П. Зуева. — Москва, 2009.
5. Ильина, Д.А. Высотное строительство России на рубеже веков / Д.А. Ильина // Мегapolis. Все о недвижимости. – 2015. – № 1.
6. Абрамсон, Л.А. Развитие строительства высотных зданий / Л.А. Абрамсон // Жилищное строительство. – 2005. – № 10.
7. Жаворонкова, О.Я. Из истории высотного строительства / О.Я. Жаворонкова // Строительство – формирование среды жизнедеятельности. – 2015.
8. Матейко, А.О. История развития и современные тенденции в высотном строительстве / А.О. Матейко // Градостроительство и архитектура. – 2016. № 3.
9. Васькин, А.А. К истории строительства в Москве высотных зданий в 1947-1955 гг. гостиница «Ленинградская» / А.А. Васькин // Исторические науки. – 2007. – № 1.
10. Васькин, А.А. К истории строительства в Москве высотных зданий в 1947-1955 гг. гостиница «Украина» / А.А. Васькин // Исторические науки. – 2007. – № 1.
11. Васькин, А.А. К истории строительства в Москве высотных зданий в 1947-1955 гг. Жилой дом на Кудринской улице / А.А. Васькин // Исторические науки. – 2007. – № 3.
12. Матейко, А.О. Периоды развития и современные тенденции высотного строительства / А.О. Матейко // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Градостроительство. – 2016.
13. Попова, Д.В. Высотные здания: Истоки и современность / Д.В. Попова.
14. Марковский М.Ф. Высотное домостроение. Без права на ошибку // Архитектура и строительство. – 2007. № 1.
15. Генералов В.П., Генералова Е.М. Перспективы развития типологии высотных зданий. Будущее городов // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2015. №1.
16. Генералов В.П., Генералова Е.М. Высотные комплексы с системой размещения обслуживающих зон по вертикали // Научное обозрение. 2015. №3.

17. Ведяков И. И., Мешкова Е. И. Тенденции мирового высотного строительства // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 31(50). Ч. 1. Города России. Проблемы проектирования и реализации.

18. Рокфеллеровский центр (Rockefeller Center) [Электронный ресурс] // Американские Города [Официальный сайт]. URL: <http://www.americancities.ru/index.php/new-york/275-rockefeller-center>.

19. Крыжановский А.Л. Вопросы надежности проектного решения фундаментных плит высотных зданий / А.Л.Крыжановский, О.И.Рубцов // Вестник МГСУ. 2006. № 1.

20. Козак Ю. Конструкции высотных зданий / Ю.Козак // М.: Стройиздат, 1986.

21. Шуллер В. Конструкции высотных зданий / В.Шуллер //– М.: Стройиздат, 1979.

22. Развитие монолитного строительства и современные опалубочные системы / С.Г. Абрамян, А.М. Ахмедов, В.С. Халилов, Д.А. Уманцев // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та Сер.: Стр-во и архит. – 2014. – №36(55).

23. Маклакова, Т.Г. Высотные здания / Т.Г. Маклакова. – М.: Издательство АСВ, 2006.

24. Щукина М.Н. Современное высотное строительство. Монография. М.: ГУП «ИТЦ Москомархитектуры», 2007.

25. Развитие высотного строительства в России [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/развитие-высотного-строительства>.

26. Современные тенденции высотного строительства [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://rem-video.ru/articles/electric/generator/современные-тенденции-высотного-строительства>.

27. Небоскреб Бурдж-Халифа в Дубае – самое высокое здание на планете [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://kuku.travel/country/oe/goroda-i-kurorty-oe/dubaj/neboskreb-burdzh-xalifa-v-dubae-samoe-vysokoe-zdanie-na-planete>.

Веселова Елена Анатольевна  
Комшин Сергей Вадимович

## Конструктивные системы жилых высотных зданий

Монография

Редактор  
Н.В. Викулова

Подписано в печать      Формат 60x90 1/8 Бумага газетная. Печать трафаретная.  
Уч. изд. л. 17,3. Усл. печ. л. 17,6. Тираж 500 экз. Заказ №

---

---

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» 603950, Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65.  
Полиграфический центр ННГАСУ, 603950, Н.Новгород, Ильинская, 65  
<http://www.nngasu.ru>, [srec@nngasu.ru](mailto:srec@nngasu.ru)