МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра архитектуры и строительства

А. В. ЕВСТРАТЕНКО, И. Г. МАЛКОВ

ВЫСОТНЫЕ ЗДАНИЯ

Рекомендовано учебно-методическим объединением в сфере высшего образования Республики Беларусь по образованию в области строительства и архитектуры в качестве учебно-методического пособия для студентов, магистрантов специальности «Архитектура» и аспирантов специальности «Архитектура зданий и сооружений, городских и сельских поселений, межселенных территорий»

Гомель 2025

УДК 69.082.22(075.8)
ББК 38.702.3
Е26

Р е ц е н з е н т ы: доцент кафедры архитектуры и строительства канд. искусствоведения, доцент *Т. Ф. Литвинова* (БелГУТ); доцент кафедры строительной механики, геотехники и строительных конструкций канд. техн. наук, доцент *В. В. Талецкий*

Евстратенко, А. В.

Е26 Высотные здания : учеб.-метод. пособие / А. В. Евстратенко, И. Г. Малков ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2025. – 46 с.
ISBN 978-985-891-200-0

Даны сведения об истории строительства высотных зданий, отмечены их достоинства и недостатки, рассмотрены особенности конструктивного и архитектурного решения.

Предназначено для студентов, магистрантов специальности «Архитектура» и аспирантов специальности «Архитектура зданий и сооружений, городских и сельских поселений, межселенных территорий». Представляет интерес для специалистов проектных организаций.

УДК 69.082.22(075.8)
ББК 38.702.3

ISBN 978-985-891-200-0

© Евстратенко А. В., Малков И. Г., 2025
© Оформление. БелГУТ, 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 4
1 История строительства высотных зданий 5
2 О понятии «небоскреб» и особенностях таких высотных зданий 12
3 Технические характеристики отдельных высотных зданий 17
4 Архитектура высотных зданий 20
5 Конструктивные решения 26
6 Строительство высотных зданий в Беларуси 33
Заключение 45
Список литературы 46

ВВЕДЕНИЕ

Одна из причин появления высотных зданий – рост цен на землю, высокая плотность застройки, особенно в центре агломераций. Реализация идеи строительства высотных зданий стала возможна со второй половины XIX в. благодаря развитию технологии использования стали и железобетона, разработке уникальной конструктивной системы несущего стального каркаса, усовершенствованию водяных насосов, изобретению предохранительной тормозной системы лифтов. Увеличение этажности жилых и общественных зданий – это объективная реальность на данном этапе градостроительной деятельности.

Как отмечают специалисты, к преимуществам высотных зданий можно отнести:

– максимально интенсивное использование имеющихся земельных участков, снижение себестоимости каждого квартального метра полезной площади здания;

– красивый вид из окон на верхних этажах;

– пониженный уровень шума на верхних этажах.

Однако есть и недостатки:

– больше времени тратится на подъем на верхние этажи и спуск с них;

– проблемы в случае неисправности лифтов;

– сложность эвакуации в случае пожара;

– выше затраты на техническое оснащение зданий, инженерные системы;

– увеличение плотности жителей (работающих в офисах) приводит к транспортным проблемам.

1 ИСТОРИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

Самым высоким сооружением в древности была Великая пирамида Гизы высотой 146 м (479 футов) в Древнем Египте, построенная в XXVI веке до нашей эры. Его высоту не могли превзойти на протяжении тысячелетий. Только в 1311 году был построен Линкольнский собор высотой 160 м (520 футов), который держал первенство до 1549 года, когда рухнул его центральный шпиль. Последний не был превзойден до возведения 555-футового (169 м) монумента Вашингтона в 1884 году.

Высотные жилые дома процветали во времена классической античности. Древнеримские инсулы в имперских городах достигали 10 и более этажей. Начиная с Августа (30 г. до н. э. – 14 г. н. э.) императоры пытались установить пределы в 20–25 м для многоэтажных зданий, но добились лишь ограниченного успеха. Нижние этажи обычно занимали магазины или богатые семьи, а верхние сдавались в аренду низшим классам. Сохранившиеся папирусы Оксиринха указывают на то, что семиэтажные здания существовали в провинциальных городах, таких как Гермополис III века н. э. в Египте Римской империи.

На крышах многих важных средневековых городов было большое количество высотных городских башен, построенных богатыми людьми для защиты и повышения статуса. Жилых башен Болоньи XII века насчитывалось от 80 до 100 одновременно, самой высокой из которых является башня Азинелли высотой 97,2 м (319 футов). Флорентийский закон от 1251 года предписывал немедленно уменьшить высоту всех городских зданий до менее чем 26 метров. Известно, что даже в городах среднего размера той эпохи было много башен, например 72 башни высотой до 51 метра в Сан-Джиминьяно.

В средневековом египетском городе Фустат было много высотных жилых зданий, которые Аль-Мукаддаси в X веке описывал как напоминающие минареты. Насир Хусрав в начале XI века представлял некоторые из них как возвышающиеся до 14 этажей, с садами на крыше на верхнем этаже, оснащенными водяными колесами, которые запряжены волами, для их орошения. В Каире в XVI веке были высотные жилые дома, где два нижних этажа предназначались для коммерческого и складского назначения, а несколько этажей над ними – для аренды. Ранним примером города, полностью состоящего из высотных зданий, является город Шибам XVI века в Йемене. Шибам состоял из более чем 500 домов-башен, каждый высотой от 5 до 11 этажей, причем каждый этаж представлял собой квартиру, занимаемую одной семьей. Город был построен таким образом, чтобы защитить его от нападений бедуинов. В Шибаме сохранились самые высокие глинобитные здания в мире, многие из которых превышают 30 м (98 футов) в высоту.

Ранний современный пример высотного жилья был в Эдинбурге XVII века, Шотландия, где оборонительная городская стена определяла границы города. Из-за ограниченной площади земли, доступной для застройки, дома вместо этого увеличились в высоту. Здания в 11 этажей были обычным явлением, и есть записи о зданиях высотой до 14 этажей. Многие каменные сооружения до сих пор можно увидеть в старом городе Эдинбурга. Старейшим зданием с железным каркасом в мире, хотя с железным лишь частично, является льняная мельница в Шрусбери, Англия. Построенное в 1797 году, оно считается «дедушкой небоскребов», поскольку его огнеупорная комбинация чугунных колонн и чугунных балок превратилась в современный стальной каркас, который сделал возможным строительство современных небоскребов. В 2013 году было подтверждено финансирование преобразования заброшенного здания в офисы.

В 1857 году Элиша Отис представил безопасный лифт в Э. В. Хейвут Билдинг в Нью-Йорке, позволяющий удобно и безопасно подниматься на верхние этажи зданий. Позже, в 1870 году, ком-

пания Otis представила первые коммерческие пассажирские лифты в здании Эквитабл Лайф Билдинг, которое некоторые историки архитектуры считают первым небоскребом. Еще одним важным нововведением стало использование стального каркаса вместо камня или кирпича, в противном случае стены на нижних этажах высокого здания были бы слишком толстыми, чтобы быть практичными. Ранним объектом застройки было здание Ориель Чамберс в Ливерпуле, Англия, построенное в 1964 году. В нем было всего пять этажей. Ориель Чамберс является первым в мире зданием с металлическим каркасом и стеклянными навесными стенами. Каменные опоры являются декоративными (рисунок 1.1).

Рисунок 1.1 – Здание Ориель Чамберс в Ливерпуле

Королевская академия искусств заявляет: «Критики в то время были в ужасе от его «больших скоплений выступающих стеклянных пузырей». Фактически, это был предшественник модернистской архитектуры, будучи первым зданием в мире, в котором была установлена навесная стена из стекла в металлическом каркасе, элемент дизайна которого создает легкие, воздушные интерьеры и с тех пор используется во всем мире как отличительная черта небоскребов».

Дальнейшее развитие событий привело к тому, что многие специалисты и организации считают первым высотным зданием (или небоскребом) в мире десятиэтажное здание Хоум Иншурэнс Бил-

динг в Чикаго, построенное в 1884–1885 годах, хотя его первоначальная высота 42,1 м (138 футов) сегодня даже не считается небоскребом. Строительство высотных зданий в 1880-х годах дало небоскребам первое архитектурное направление, широко известное как Чикагская школа, которая разработала то, что было названо коммерческим стилем.

Архитектор майор Уильям Ле Барон Дженни создал несущий каркас конструкции. Стальной каркас поддерживал вес всех стен здания, вместо несущих стен. Такое развитие событий привело к форме строительства «чикагский скелет». В дополнение к стальному каркасу в здании Хоум Иншурэнс также использовались противопожарные материалы, лифты и электропроводка – ключевые элементы большинства современных небоскребов.

Здание Рэнд МакНелли, построенное Бернхэмом и Рутом в 1889 году в Чикаго, высотой 45 м (148 футов) было первым небоскребом с цельностальным каркасом, в то время как здание Луиса Салливана высотой 41 м (135 футов) Уэйнрайт в Сент-Луисе, штат Миссури, построенное в 1891 году, было первым офисным зданием из красного кирпича со стальным каркасом с высокими вертикальными полосами, подчеркивающими высоту здания, и поэтому считается первым ранним небоскребом (рисунок 1.2). В 1889 году башня Мол Антонеллиана в Италии имела высоту 167 м (549 футов).

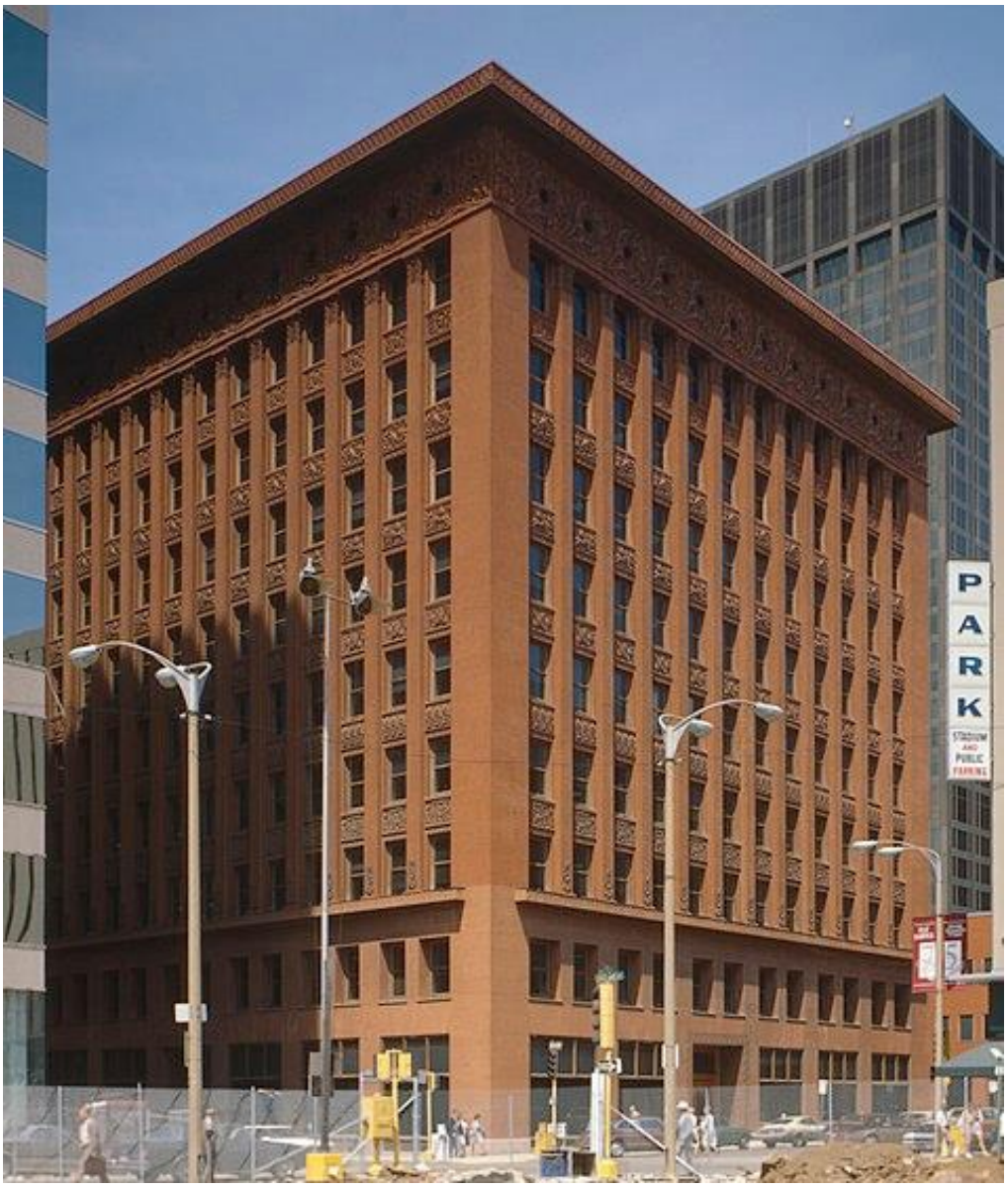

Рисунок 1.2 – Уэйнрайт Билдинг в Сент-Луисе, штат Миссури

Большинство ранних небоскребов появилось в стесненных земельными условиями районах Нью-Йорка и Чикаго ближе к концу XIX века. Земельный бум в Мельбурне, Австралия, между 1888 и 1891 годами привел к созданию значительного числа ранних небоскребов, хотя ни один из них не был усилен сталью, и лишь немногие сохранились сегодня. Позже были введены ограничения по высоте и противопожарные ограничения. В конце 1800-х годов лондонские строители обнаружили, что высота сооружений ограничена из-за проблем с существующими зданиями. Высотная застройка в Лондоне ограничена в определенных местах, если это может загораживать охраняемые виды на собор Святого Павла и другие исторические здания. Эта политика «Высоты Святого Павла» официально действует с 1937 года.

Опасения по поводу эстетики и пожарной безопасности также препятствовали строительству небоскребов по всей континентальной Европе в первой половине XX века. К 1940 году в Европе насчитывалось около 100 высотных зданий.

После раннего соперничества между Нью-Йорком и Чикаго за звание самого высокого здания в мире к 1895 году Нью-Йорк захватил лидерство, завершив строительство Американ Шурти Билдинг высотой 103 м (338 футов), и сохранил титул самого высокого здания в мире на многие годы.

Строительство небоскребов вступило в тридцатилетнюю эпоху застоя в 1930 году из-за Великой депрессии, а затем Второй мировой войны. Вскоре после окончания войны Россия начала строительство серии небоскребов в Москве. Семь небоскребов, получивших название «Семь сестер», были построены в период с 1947 по 1953 год; и один из них, Главное здание Московского государственного университета, был самым высоким зданием в Европе на протяжении почти четырех десятилетий (1953–1990). Другие небоскребы в стиле социалистического классицизма были возведены в Восточной Германии (Франкфуртер Тор), Польше (ПКиН), Украине (отель Москва), Латвии (Академия наук) и других странах Восточного блока. В западноевропейских странах также начали разрешать строительство более высоких небоскребов сразу после Второй мировой войны. Ранние примеры включают Edificio España (Испания) и Torre Breda (Италия).

Начиная с 1930-х годов небоскребы начали появляться в различных городах Восточной и Юго-Восточной Азии, а также в Латинской Америке. Наконец, они также начали строиться в городах Африки, Ближнего Востока, Южной Азии и Океании с конца 1950-х годов.

Проекты небоскребов после Второй мировой войны, как правило, отвергали классические проекты ранних небоскребов, вместо этого придерживаясь единого международного стиля; многие старые небоскребы были перепроектированы в соответствии с современными вкусами или даже снесены – например, нью-йоркский Сингер Билдинг, некогда самый высокий небоскреб в мире.

Немецко-американский архитектор Людвиг Мис ван дер Роэ стал одним из самых известных архитекторов мира во второй половине XX века. Он задумал небоскреб со стеклянным фасадом и вместе с норвежцем Фредом Северудом спроектировал Сигрем Билдинг в 1958 году, небоскреб, который часто считается вершиной модернистской высотной архитектуры.

Строительство небоскребов стремительно росло на протяжении 1960-х годов. Толчком к подъему послужила серия преобразующих инноваций, которые позволили людям жить и работать в «городах в небе».

В начале 1960-х годов бангладешско-американский инженер-строитель Фазлур Рахман Кхан, считающийся «отцом трубчатых конструкций» для высотных зданий, обнаружил, что доминирующая жесткая конструкция из стального каркаса была не единственной системой, подходящей для высотных зданий, что ознаменовало новую эру строительства небоскребов с точки зрения множества структурных систем. Его центральным нововведением в проектировании и строительстве небоскребов стала концепция конструктивной системы «труба», включающая каркасную, стропильную и связанную трубы. Концепция «трубы», использующая всю структуру внешних стен здания по периметру для имитации тонкостенной трубы, произвела революцию в дизайне высотных зданий. Эти системы обеспечивают большую экономическую эффективность, а также позволяют небоскребам принимать различные формы, больше не обязательно быть прямоуголь-

ными или коробчатыми. Первым зданием, в котором использовалась трубчатая конструкция, был многоквартирный дом Честнат Де-Витт, считающийся крупным достижением в современной архитектуре. Эти новые проекты открыли экономические возможности для подрядчиков, инженеров, архитекторов и инвесторов, предоставив огромное количество площадей для недвижимости на минимальных участках земли. В течение следующих пятнадцати лет Фазлуром Рахманом Ханом и Второй Чикагской школой было построено множество башен, включая стоэтажный центр Джона Хэнкока и массивную 442-метровую (1450 футов) башню Уиллиса. Другими пионерами в этой области являются Хэл Айенгар, Уильям Лемессурье и Минору Ямасаки, архитектор Всемирного торгового центра.

Многим зданиям, спроектированным в 70-е годы XX века, не хватало определенного стиля, и они напоминали орнаменты более ранних зданий, спроектированных до 50-х годов. Эти дизайнерские планы игнорировали окружающую среду и нагружали конструкцию декоративными элементами и экстравагантной отделкой. Против такого подхода к дизайну выступал Фазлур Хан, который считал проекты скорее причудливыми, чем рациональными. Более того, он считал эту работу пустой тратой драгоценных природных ресурсов. Работы Хана пропагандировали структуры, интегрированные с архитектурой, и наименьшее использование материалов, что приводило к наименьшему воздействию на окружающую среду. Следующая эра высотных зданий будет сосредоточена на окружающей среде, включая эксплуатационные характеристики конструкций, типы материалов, методы строительства, абсолютное минимальное использование материалов (природных ресурсов), воплощенную энергию в конструкциях и, что более важно, целостно интегрированный подход к строительным системам.

Современная строительная практика, касающаяся сверхвысоких конструкций, привела к изучению «высоты тщеславия». Высота тщеславия, согласно CTBUH – это расстояние между самым высоким этажом и его архитектурной вершиной (без учета антенн, флагштоков или других функциональных пристроек). Высота тщеславия впервые появилась в небоскребах Нью-Йорка еще в 1920–1930-х годах, но сверхвысокие здания опирались на такие непригодные для жилья пристройки в среднем на 30 % своей высоты, что создавало потенциальные проблемы определения устойчивости. Современная эпоха небоскребов фокусируется на экологичности, построенных зданиях и природной среде, включая эксплуатационные характеристики конструкций, типы материалов, методы строительства, абсолютный минимум использования материалов и природных ресурсов, энергии внутри конструкции и целостный системный подход к строительству. LEED – действующий стандарт экологичного строительства.

В архитектурном плане с появлением движений постмодернизма, нового урбанизма и Новой классической архитектуры, которые утвердились с 1980-х годов, более классический подход вернулся к глобальному дизайну небоскребов, который остается популярным и сегодня. Примерами являются Уэлс Фарго Сентер, Башня NBC, Парквью Сквер, 30 Парк Плэйс, Мессетурм, знаменитые башни Петронас и башня Цзинь Мао.

Другие современные стили и направления в дизайне небоскребов включают органический, устойчивый, неофутуристский, структуралистский, хай-тек, деконструктивистский, кляксовый, цифровой, рационализастский, новаторский, критически регионалистский, вернакулярный, неоардеко и неоистористский, также известный как возрожденческий.

Застройщики Нью-Йорка соревновались между собой, в 1920-х и начале 1930-х годов на звание «самого высокого в мире» претендовали все более высокие здания, кульминацией стало завершение строительства Крайслер билдинг высотой 318,9 м (1046 футов) в 1930 году и Эмпайр Стейт Билдинг высотой 381 м (1250 фута) в 1931 году, самого высокого здания в мире за сорок лет. Первая завершенная башня Всемирного торгового центра высотой 417 м (1368 футов) стала самым высоким зданием в мире в 1972 году (рисунок 1.3). Однако в течение двух лет его обогнала Сирс-Тауэр (ныне Уиллис-Тауэр) в Чикаго. Сирс Тауэр высотой 442 м (1450 футов) считался самым высоким зданием в мире в течение 24 лет, с 1974 по 1998 год, пока его не обогнали башни-близнецы Петронас высотой 452 м (1483 фута) в Куала-Лумпуре, которые удерживали это звание в течение шести лет (рисунок 1.4).

Рисунок 1.3 – Всемирный торговый центр, Нью-Йорк

Рисунок 1.4 – Башни Петронас (1998) в Куала-Лумпур

2 О ПОНЯТИИ «НЕБОСКРЕБ» И ОСОБЕННОСТЯХ ТАКИХ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

Небоскреб – это высокое, постоянно пригодное для проживания или деятельности людей здание, имеющее несколько этажей. Термин «небоскреб» впервые был применен к зданиям со стальным каркасом высотой не менее 10 этажей в конце XIX века в результате изумления общественности высокими зданиями, возводимыми в крупных американских городах, таких как Нью-Йорк, Филадельфия, Бостон, Чикаго, Детройт и Сент-Луис.

Структурное определение слова *«небоскреб»* было уточнено позднее историками архитектуры, основывались на технических разработках 1880-х годов, что позволило возведение высотных многоэтажных зданий. Это определение было основано на стальном каркасе в отличие от конструкций из несущей каменной кладки, которые достигли своего практического предела в 1891 году с появлением чикагского Монаднок Билдинг. Конструкция из стального каркаса позволила возвести сверхвысокие небоскребы, которые сейчас строятся по всему миру.

Первым небоскребом со стальным каркасом было здание Хоум Иншурэнс Билдинг, первоначально имевшее 10 этажей высотой 42 м или 138 футов, построенное в Чикаго в 1885 году; позднее были пристроены два дополнительных этажа. Некоторые указывают на 10-этажное Джейн Билдинг в Филадельфии (1849–1850) как на прототип небоскреба или на семиэтажное здание Эквитабл Лайф Билдинг в Нью-Йорке, построенное в 1870 году.

Современные источники в настоящее время определяют небоскребы как имеющие высоту не менее 100 метров (330 футов) или 150 метров (490 футов), хотя общепринятого определения, кроме как очень высокие высотные здания, не существует. В небоскребах могут располагаться офисы, гостиницы, жилые помещения и торговые площади.

Одной из общих черт небоскребов является наличие стального каркаса, поддерживающего навесные стены. Эта идея была выдвинута Виолле ле Дюком в его «Беседах об архитектуре». Эти навесные стены либо опираются на каркас снизу, либо подвешены к каркасу сверху, а не опираются на несущие стены обычной конструкции. Некоторые ранние небоскребы имели стальной каркас, который позволял возводить несущие стены выше, чем из железобетона.

Стены современных небоскребов не являются несущими, и большинство небоскребов характеризуются большой площадью окон, что стало возможным благодаря стальным рамам и навесным стенам. Однако небоскребы могут иметь навесные стены, имитирующие обычные стены с небольшой площадью окон. Современные небоскребы часто имеют трубчатую конструкцию и спроектированы так, чтобы действовать как полый цилиндр для сопротивления ветровым, сейсмическим и другим боковым нагрузкам. Чтобы казаться более стройными, меньше подвергаться воздействию ветра и пропускать больше дневного света на землю, многие небоскребы имеют конструкцию с отступами, что в некоторых случаях также требуется конструктивно.

По состоянию на сентябрь 2023 года в четырнадцати городах мира насчитывается более 100 небоскребов высотой 150 м (492 фута) или выше: Гонконг, Китай, с 552 небоскребами; Шэньчжэнь, Китай, с 373 небоскребами; Нью-Йорк, США, с 314 небоскребами; Дубай, ОАЭ, с 252 небоскребами; Гуанчжоу, Китай, с 188 небоскребами; Шанхай, Китай, с 183 небоскребами (рисунок 2.1); Токио, Япония, со 168 небоскребами; Куала-Лумпур, Малайзия, со 156 небоскребами; Ухань, Китай, со 149 небоскребами; Чунцин, Китай, со 144 небоскребами; Чикаго, США, со 137 небоскребами; Чэнду, Китай, со 117 небоскребами; Джакарта, Индонезия, со 112 небоскребами и Бангкок, Таиланд, со 111 небоскребами.

Рисунок 2.1 – Шанхайская башня, самое высокое здание в Китае

Различные организации из Соединенных Штатов и Европы определяют небоскребы как здания высотой не менее 150 м (490 футов) или выше, «сверхвысокие» небоскребы – здания высотой более 300 м (984 фута) и «мегавысокие» небоскребы – здания высотой более 600 м (1969 футов).

Изобретение лифта было предварительным условием для изобретения небоскребов, т. к. большинство людей не хотели (или не могли) подниматься более чем на несколько лестничных пролетов одновременно.

Лифт в небоскребе – это не просто необходимые коммунальные услуги, такие как водопровод и электричество, на самом деле он тесно связан с дизайном всей конструкции: более высокому зданию требуется больше лифтов для обслуживания дополнительных этажей, но лифтовые шахты занимают ценную площадь. Если служебное ядро, содержащее лифтовые шахты, становится слишком большим, это может снизить рентабельность здания. Поэтому архитекторы должны сбалансировать ценность, получаемую за счет увеличения высоты, с ценностью, теряемой из-за расширения сервисного ядра.

Во многих высотных зданиях используются лифты нестандартной конфигурации, чтобы уменьшить занимаемую площадь. В таких зданиях, как бывшие башни Всемирного торгового центра и чикагский центр Джона Хэнкока, используются небесные вестибюли, где скоростные лифты доставляют пассажиров на верхние этажи, которые служат базой для местных лифтов. Это позволяет архитекторам и инженерам размещать лифтовые шахты друг над другом, экономя пространство. Однако небесные вестибюли и скоростные лифты занимают значительное количество места и увеличивают количество времени, затрачиваемого на перемещение между этажами.

В других зданиях, таких как башни Петронас, используются двухэтажные лифты, что позволяет большему количеству людей поместиться в одном лифте и достигает двух этажей на каждой остановке. На лифте можно подняться даже на более чем два уровня, хотя этого никогда не делалось. Основная проблема двухэтажных лифтов заключается в том, что они заставляют всех пассажиров лифта останавливаться, когда только одному человеку на одном уровне нужно выйти на данном этаже.

К зданиям с небесными вестибюлями относятся Всемирный торговый центр, башни-близнецы Петронас, Уиллис Тауэр и Тайбэй 101. В небоскребном вестибюле на 44-м этаже Центра Джона Хэнкока также расположен первый высотный крытый бассейн, который остается самым высоким в Соединенных Штатах. Небоскребы обычно расположены в центрах городов, где цена на землю высока. Строительство небоскреба становится оправданным, если цена на землю настолько высока, что имеет экономический смысл строить вверх, чтобы минимизировать стоимость земли в расчете на общую площадь здания. Таким образом, строительство небоскребов продиктовано экономическими соображениями и приводит к появлению небоскребов в определенной части крупного города, если только строительные нормы не ограничивают высоту зданий.

Небоскребы редко можно увидеть в небольших городах, и они характерны для крупных городов из-за критической важности высоких цен на землю для строительства небоскребов. Обычно арендную плату в центре города могут позволить себе только владельцы офисов, коммерческих объектов и гостиниц, и поэтому большинство арендаторов небоскребов принадлежат к этим классам.

Еще одним недостатком очень высоких небоскребов является потеря полезной площади, поскольку для обеспечения эффективного вертикального перемещения требуется много лифтовых шахт. Это привело к появлению скоростных лифтов и небесных вестибюлей, где можно пересесть на более медленные распределительные лифты.

Для строительства одного небоскреба требуется большое количество таких материалов, как сталь, бетон и стекло, и эти материалы представляют собой значительную воплощенную энергию. Таким образом, небоскребы являются материалоемкими и энергоемкими зданиями.

Небоскребы имеют значительную массу, требующую более прочного фундамента, чем более короткие и легкие здания. Строительные материалы приходится поднимать на вершину небоскреба во время строительства, что требует больше энергии, чем было бы необходимо на более низких высотах. Кроме того, небоскреб потребляет много электроэнергии, потому что на самые высокие жилые этажи приходится закачивать питьевую и непитьевую воду. Небоскребы обычно проектируются с механической вентиляцией, лифты обычно используются вместо лестниц, а электрическое освещение необходимо в помещениях, удаленных от окон, и в помещениях без окон, таких как лифты, ванные комнаты и лестничные клетки.

Небоскребы могут быть искусственно освещены, а потребности в энергии могут быть покрыты за счет возобновляемых источников энергии или другого производства электроэнергии с низкими выбросами парниковых газов. Отопление и охлаждение небоскребов может быть эффективным благодаря централизованным системам ОВКВ, окнам, блокирующим тепловое излучение, и небольшой площади здания. Существует сертификат лидерства в области энергетического и экологического проектирования (LEED) для небоскребов. Например, Эмпайр Стейт Билдинг получил золотую награду в рейтинге «Лидерство в области энергетического и экологического проектирования» в сентябре 2011 года, доказывая, что небоскребы могут быть экологически чистыми. Здание 30 St Mary Axe в Лондоне, Соединенное Королевство, является еще одним примером экологически чистого небоскреба.

На нижних уровнях небоскреба больший процент площади здания должен быть отведен под конструкцию здания и услуги, чем требуется для зданий более низкого уровня.

В малоэтажных зданиях вспомогательные помещения для устройств (чиллеров, трансформаторов, бойлеров, насосов и приточно-вытяжных установок) могут располагаться в подвалах или на крыше – местах, стоимость аренды которых невелика. Однако существует ограничение на то, как далеко эти устройства могут быть расположены от обслуживаемой территории. Чем дальше они расположены, тем больше стояков для воздуховодов и труб от устройств до обслуживаемых этажей и тем большую площадь занимают эти стояки.

На строительный сектор приходится примерно 50 % выбросов парниковых газов, при этом на эксплуатационную энергию приходится 80–90 % энергопотребления, связанного со зданиями. На эксплуатационное энергопотребление влияют величина электропроводности между внутренним и наружным пространством, конвекция от проникающего воздуха и излучение через остекление. Степень, в которой эти факторы влияют на эксплуатационную энергию, варьируется в зависимости от микроклимата небоскреба: скорость ветра повышается по мере увеличения высоты небоскреба, а температура сухого термометра снижается по мере увеличения высоты. Например, при перемещении с 1,5 метров до 284 метров температура сухого термометра снизилась на 1,85 ^{o}C, в то время как скорость ветра увеличилась с 2,46 метров в секунду до 7,75 метров в секунду, что привело к снижению летней температуры на 2,4 % по сравнению с Башней Свободы в Нью-Йорке. Однако для того же здания было обнаружено, что годовая интенсивность энергопотребления была на 9,26 % выше из-за отсутствия затенения на больших высотах, что увеличивало нагрузку на охлаждение до конца года, в то время как сочетание температуры, ветра, затенения и эффектов отражений привело к совокупному увеличению годовой интенсивности энергопотребления на 13,13 %. В исследовании 2013 года Люнг и Рэй сравнили среднюю интенсивность энергопотребления строений высотой от 0 до 9 этажей и высотой более 50 этажей. Небольшое снижение интенсивности энергопотребления на 30–39-м этажах можно объяснить тем фактом, что повышение давления в системах отопления, охлаждения и распределения воды выравнивается в точке между 40-м и 49-м этажами, и можно увидеть экономию энергии за счет микроклимата более высоких этажей. Существует пробел в данных, из-за которого необходимо другое исследование, рассматривающее ту же информацию, но для более высоких зданий.

Часть увеличения эксплуатационной энергии в высотных зданиях связана с использованием лифтов, поскольку с повышением высоты здания увеличивается пройденное расстояние и скорость, с которой они перемещаются. От 5 до 25 % общей энергии, потребляемой в высоком здании, приходится на использование лифтов. С увеличением высоты здания оно также становится более неэффективным из-за более высоких потерь на лобовое сопротивление и трение.

Воплощенная энергия, связанная со строительством небоскребов, варьируется в зависимости от используемых материалов. Воплощенная энергия выражается количественно на единицу материала. Небоскребы по своей сути обладают более высокой воплощенной энергией, чем малоэтажные здания, из-за увеличения количества используемых материалов по мере возведения большего количества этажей. Для всех типов этажей, за исключением железобетонных, было обнаружено, что после 60 этажей наблюдается снижение удельной воплощенной энергии, но при рассмотрении всех этажей наблюдается экспоненциальный рост из-за двойной зависимости от высоты. Первая представляет собой взаимосвязь между увеличением высоты, приводящей к увеличению количества используемых материалов, и вторая – увеличение высоты, приводящее к повышению размеров элементов для увеличения несущей способности здания. Тщательный выбор строительных материалов, вероятно, может снизить вложенную энергию без уменьшения количества этажей, построенных в представленных пределах.

В городских районах конфигурация зданий может привести к усилению ветра и неравномерному рассеиванию загрязняющих веществ. Когда высота зданий, окружающих источник загрязнения воздуха, растет, увеличиваются размеры и распространенность как «мертвых зон», так и «горячих точек» в районах, где почти нет загрязняющих веществ и высокие концентрации загрязняющих веществ соответственно. На изменение скорости потока может влиять строительство новых зданий, а не только увеличение высоты. Поскольку городские центры продолжают расширяться вверх и наружу, нынешние скорости потоков будут продолжать задерживать загрязненный воздух вблизи высотных зданий в черте города. В частности, в крупных городах большая часть загрязнения воздуха происходит от транспорта, будь то автомобили, поезда,

самолеты или лодки. Поскольку разрастание городов продолжается, выбросы загрязняющих веществ продолжаются, загрязнители воздуха будут по-прежнему задерживаться в пределах этих городских центров. Различные загрязняющие вещества могут по-разному наносить вред здоровью человека. Например, твердые частицы, образующиеся в выхлопных газах автомобилей и при выработке электроэнергии, могут вызывать астму, бронхит и рак, в то время как диоксид азота, образующийся в процессе сгорания двигателя, может вызывать неврологическую дисфункцию и удушье.

Как и в случае со всеми другими зданиями, если принять специальные меры по внедрению методов устойчивого проектирования на ранних стадиях процесса проектирования, можно получить рейтинг экологичности здания, такой как сертификат лидерства в области энергетического и экологического проектирования. Комплексный подход к проектированию имеет решающее значение для обеспечения того, чтобы проектные решения, которые положительно влияют на всё здание в целом, принимались в начале процесса. Из-за огромных масштабов небоскребов решения, принимаемые проектной группой, должны учитывать все факторы, включая влияние здания на окружающее сообщество, направление движения воздуха и воды, а также влияние процесса строительства. Существует несколько методов проектирования, которые можно было бы использовать при строительстве небоскреба с использованием преимуществ высоты здания. Микроклимат, который существует по мере увеличения высоты здания, может быть использован для повышения естественной вентиляции, уменьшения охлаждающей нагрузки и улучшения естественного освещения. Естественную вентиляцию можно увеличить, используя эффект тяги, при котором теплый воздух движется вверх и увеличивает движение воздуха внутри здания. При использовании эффекта тяги здания должны с особой тщательностью проектироваться с учетом методов разделения огня, поскольку эффект также может усугубить серьезность пожара. Небоскребы считаются зданиями, в которых доминируют внутренние помещения из-за их размеров, а также того факта, что большинство из них используются как своего рода офисные здания с высокими нагрузками на охлаждение. Благодаря микроклимату, созданному на верхних этажах увеличением скорости ветра и снижением температуры сухих ламп, охлаждающая нагрузка, естественно, будет снижена из-за проникновения через тепловую оболочку. Используя преимущества естественных более низких температур на больших высотах, небоскребы могут пассивно снижать нагрузку на систему охлаждения. Другой стороной этого аргумента является отсутствие затенения на больших высотах другими зданиями, поэтому приток солнечного тепла будет больше на более высоких этажах, чем на этажах в нижней части здания. Следует принимать особые меры по защите верхних этажей от солнечного света в период перегрева, чтобы обеспечить тепловой комфорт без увеличения нагрузки на охлаждение.

3 ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОТДЕЛЬНЫХ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

Технические характеристики высотных зданий мира представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – **Характеристики высотных зданий мира**

Название	Фото	Город	Высота архитектурная, м	Высота последнего эксплуатируемого этажа, м	Этажность	Год окончания постройки	Примечания
Бурдж-Халифа		Дубай	828	584,5	163	2010	Самое высокое многофункциональное здание в мире
Шанхайская башня		Шанхай	632	583,4	128	2015	Самое высокое сооружение в Восточной Азии
Королевская часовая башня		Мекка	601	494,4	120	2012	Самый высокий отель в мире, здание с самыми большими и самыми высоко расположенными часами в мире
Международный финансовый центр Пинань		Шэньчжэ́нь	599,1	562,2	115	2017	Самое высокое офисное здание в мире
Башня Lotte World		Сеул	554,5	497,6	123	2016	Самое высокое здание на Корейском полуострове
Всемирный торговый центр		Нью-Йорк	541,3	386,5	104	2014	Самое высокое здание в США и Западном полушарии
Гуанчжоуский финансовый центр		Гуанчжоу	530	495,5	111	2016	Самое высокое здание в Гуанчжоу

Окончание таблицы 3.1

Название	Фото	Город	Высота архитектурная, м	Высота последнего эксплуатируемого этажа, м	Этажность	Год окончания постройки	Примечания
Тяньцзиньский финансовый центр		Тяньцзинь	530	439,4	97	2019	Самое высокое здание в Тяньцзинь
Пекинская Башня		Пекин	528	515	108	2018	Самое высокое здание в Пекине
Лахта Центр		Санкт-Петербург	462	357	87	2019	Самое высокое здание в России и Европе, самый северный сверхвысокий небоскреб
Южная башня ОКО		Москва	354,1	342	85	2016	Третье по высоте здание в Европе. Самая высокая смотровая площадка в Европе

Бурдж-Халифа, Дубай, ОАЭ, 828 метров. В этой башне 163 этажа, небоскреб имеет ступенчатую форму, на вершине установлен самый высокий шпиль в мире. Строительство шло с 2004 по 2010 год. Внутри комплекса размещены отель, квартиры, офисы и торговые центры.

Шанхайская башня, Китай, 632 метра. Сооружение возвышается на 103 этажа. Его считают одним из самых «зеленых» в мире, потому что оно почти не наносит вреда экологии. Особенность башни заключается в ее форме – фасад «закручен» по отношению к фундаменту на 120 градусов. Строили ее с 2008 по 2015 год. Здесь размещаются офисы, рестораны, ТРЦ.

Абрадж аль-Бейт, Мекка, Саудовская Аравия, 601 метр. Королевская часовая башня входит в архитектурный комплекс из семи высоких строений. Расположена она напротив мечети аль-Харам, в которой находится главная исламская святыня. В ней 120 этажей. В главном строении есть отель, рассчитанный на более 100 тыс. паломников, посещающих Мекку. У вершины установлены гигантские часы диаметром 43 метра. Строительство завершилось в 2012 году.

Международный финансовый центр Пинань, Шэньчжэнь, Китай, 559 метров. Сначала планировали построить здание высотой 660 метров, однако в 2015 году пришлось удалить один шпиль, так как он мешал полетам авиации. Здесь 115 наземных и 5 подземных этажей. Строили центр с 2009 по 2017 год. Тут находятся офисы, торговые пространства, культурно-развлекательные центры и гостиницы. На последнем этаже расположилась смотровая площадка.

Башня Lotte World, Сеул, Южная Корея, 555 метров. Это 123-этажный сверхвысокий небоскреб, который начали возводить в 2005 году, а закончили в 2016-м. Здание имеет стройный корпус со светлыми стеклянными панелями. Башня включает в себя магазины, офисы, жилые апартаменты, гостиницу, смотровые площадки.

Всемирный торговый центр 1, Нью-Йорк, США, 546 метров. Небоскреб расположен в Манхэттене и является самым высоким в Западном полушарии. Он частично построен на месте

старого комплекса, разрушенного 11 сентября 2001 года. Возводили 109 этажей с 2006 по 2013 год. Здание вмещает в себя офисные помещения, рестораны и смотровые площадки.

Финансовый центр CTF, Гуанчжоу, Китай, 530 метров. У сооружения обтекаемая форма, благодаря чему на него не влияют потоки воздуха. В нем 111 наземных и 5 подземных этажей. Его строили с 2010 по 2016 год. Под офисные помещения отведены нижние этажи, с 1 по 69. Выше расположился 5-звездочный отель, затем организована смотровая площадка и ресторан, также здесь оборудована вертолетная площадка.

Финансовый центр CTF, Тяньцзинь, Китай, 530 метров. Состоит из 97 этажей, которые возводили с 2013 по 2019 год. Высотка имеет немного изогнутую форму. Фасад придает мерцающее свечение и усиливает кривизну здания.

Небоскреб Чайна-Цзунь, Пекин, Китай, 528 метров. В здании 108 этажей. Строительство началось в 2011 году, а закончилось в 2018 году. Небоскреб постепенно сужается к вершине (с 78 до 54 метров), а затем снова расширяется до 69 метров. Такая конструкция создала пространство для новых офисов на верхних этажах высотки.

Уиллис-тауэр, Чикаго, США, 527 метров. Небоскреб был построен в период с августа 1970 по май 1973 год. В нем 108 этажей, а 16 тысяч окон покрывают все уровни строения. Здание имеет ступенчатую геометрию. Оно состоит из девяти квадратных труб, образующих в основании большой квадрат. Из-за ассиметричного дизайна башня наклонена на запад на 10 сантиметров.

4 АРХИТЕКТУРА ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

Первые небоскребы, возведенные в США, имели мало общего с современными высотными зданиями. Размеры в плане домов, которые возводили на незатесненных окружающей застройкой участках, не были ограничены, поэтому их высотность (и без того небольшая) очень слабо выражена в архитектуре и, прежде всего, в соотношении размеров здания. Высота первых «чикагских небоскребов» соотносилась с длиной фасада в пределах 1,5:1 – 2,5:1 (против 7:1 – 8:1 в современных высотных башнях). Во внешнем облике первых «чикагских небоскребов» нашел отражение популярный во второй половине XIX в. стиль «эклектика», сочетающий архитектурные приемы и образы всех предшествующих эпох, начиная с Древнего Египта. Объемы не расчленены, каждое здание – единый монолит. В среде окружающей застройки они «первые среди равных» и выделяются только размерами, но никак не архитектурой. Они символизируют фундаментальность, солидность, приверженность традициям тех торговых фирм, банков и страховых компаний, которые в них размещались.

В настоящее время один из самых распространенных приемов архитектурной организации нижней зоны подобных комплексов – устройство платформы-стилобата, занимающей зачастую всю площадь участка застройки; суммарная площадь находящихся в ней помещений может достигать десятков и сотен тысяч метров (рисунок 4.1). На такой платформе могут размещаться как один, так и целые группы разновысотных объемов. Марина-Сити (Чикаго) – хрестоматийный пример такой организации комплекса. В его платформе театр, спортзал, бассейн, ледовый каток, несколько магазинов и ресторанов. Под частью платформы, нависающей над рекой, расположен причал для яхт.

Многоуровневые платформы радикальным образом решают целый ряд функциональных задач: разделение пешеходных и транспортных потоков, пешеходного транзита и жилых рекреаций, общественных и жилых уровней, максимальное использование городской территории.

В основных тенденциях изменения форм высотных зданий можно выделить два направления. Одно из них связано с поисками венчающей части здания. Если первые небоскребы сохраняли логику предшествующих – карнизные тяги и выпуск кровель, то далее наметились две тенденции: вывод фасадной плоскости до верхней отметки и отказ от элементов завершения (Левер Хауз в Нью-Йорке) либо развитое и пластически обогащенное завершение (Крайслер в Нью-Йорке). Иногда оно имело рациональную подоснову (наклонное завершение Корпентер-центра вызвано необходимостью разместить солнечные батареи), иногда романтическую (завершение первого небоскреба в Дубае называют «игольным ушком», через которое в день открытия гостиницы пролетел на своем самолете шах). Второе направление связано с поисками общей формы здания. Дело в том, что возведенные на всей площади участка вертикальные призмы давали слишком большие конверты теней. И в американских нормах появилась рекомендация делать площадь верхнего этажа в четыре раза меньше площади плана на нулевой отметке. Практика последних лет позволяет выделить следующие композиционные группы:

– высотные здания чистой, геометрически правильной формы;

– здания с визуально выделенным центральным несущим ядром;

– здания, построенные на сопряжении сложных геометрических форм;

– сочетания нескольких самостоятельных, зачастую разных по форме объемов, связанных переходами на верхних отметках или развитой платформой на уровне земли;

– здания, построенные на частичной открытости внутренних пространств за счет устройства террас и лоджий.

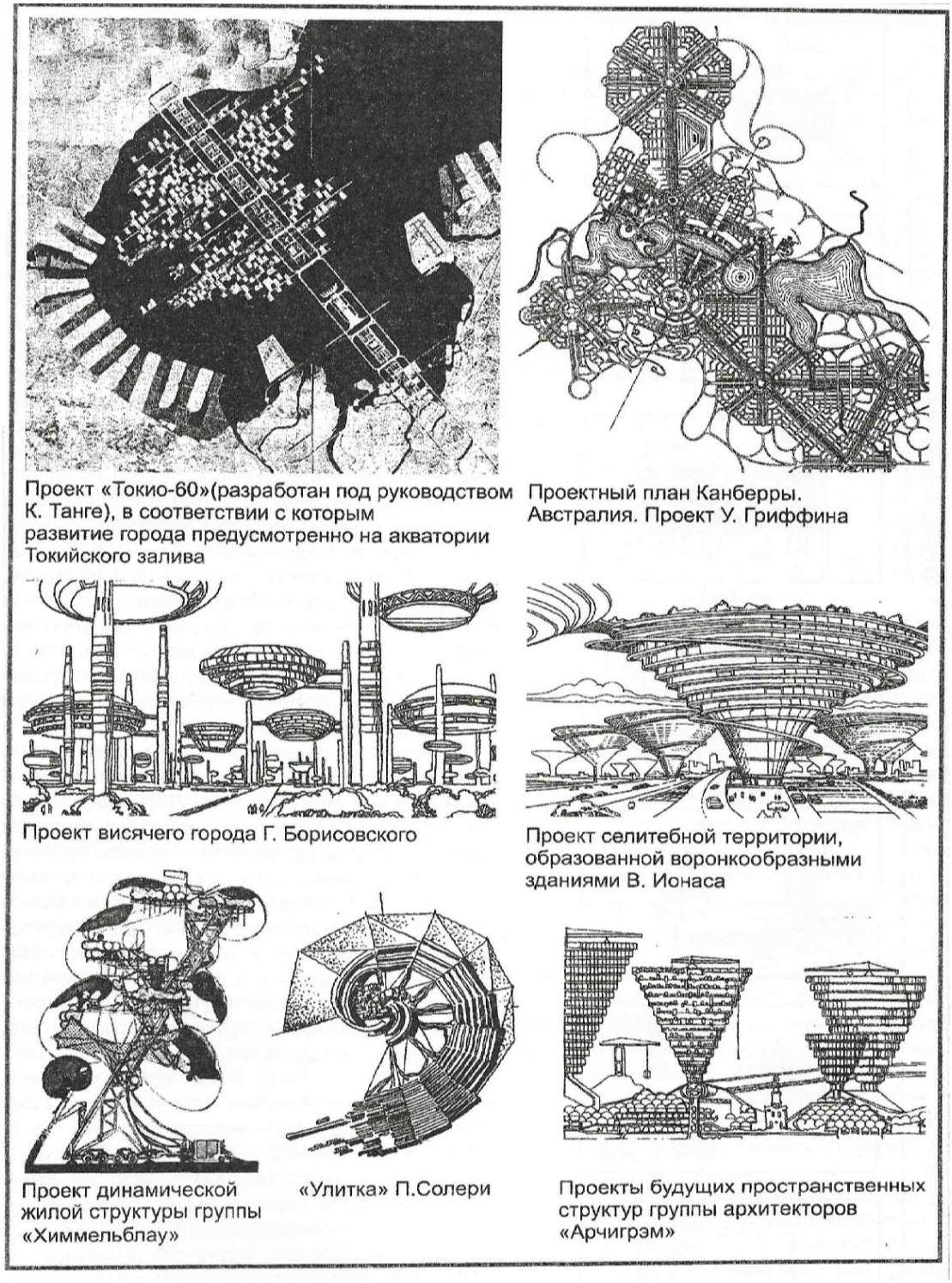

Рисунок 4.1 – Новые формы построения объемов зданий

В решении композиционных задач значительную роль играет цвет. Цвет может подчеркнуть разницу и определить границы геометрических объемов, усилить звучание единой вертикальной оси, обогатить фасад введением нескольких разнообразных по характеру осей, выявить каскадный принцип соподчинения объемов, усилить контрастное противопоставление горизонтальной оси вертикальной за счет ритмизации цветовой схемы.

Это практика сегодняшних дней. А что несет будущее? Архитекторы не собираются останавливаться в гонке за рекордами высоты, обещая поднять до 702 м Дубайскую башню, до 1000 м Бионик-

Тауэр в Китае и Скай-сити в Японии. Если проследить намечающиеся инновационные тенденции, то можно назвать следующие новые типы высотных зданий:

– «зеленые»;

– «нулевые»;

– небоскребы с измененной технологией строительства.

На примере 26-этажного Эдитт-Тауэр (Сингапур) проследим характерные черты «зеленых» высотных зданий будущего. Проект появился в результате проведения конкурса под названием «Экологический дизайн в тропиках». Основная отличительная особенность «зеленых» высоток заключается в том, что в их объем вводится природный компонент. Это направление сегодня получило название «висячие зеленые сады», и такой высотный комплекс по сути становится вертикальным городом, в который наряду с магазинами, кафе, кинозалами включаются площади, парки, скверы, бульвары, зеленые дворики с фонтанами, малыми деревьями, цветами. Авторы здания Эдитт-Тауэр хотят добиться, чтобы прилегающий к комплексу ландшафт вошел внутрь, непрерывной лентой дошел до последнего уровня, следуя за широкими пешеходными пандусами.

По мере увеличения количества этажей все больше обостряется психологическая проблема – отрыв человека от земли, разрыв с природой приводит к дискомфорту, страху высоты. Дорожки, наклонные пандусы и открытые переходы Эдитт-Тауэр должны создавать у людей, находящихся в здании, ощущение прогулки по парку. Этот эффект будет усиливаться благодаря разнообразным растениям, размещенным на открытых террасах от первого до последнего этажа здания; на отдельных уровнях они будут представлять собой достаточно крупные пространственные и биологические образования. Сады выходят на открытые террасы, полностью формируя фасад. Для них подбираются растения с учетом микроклимата на разных уровнях и фасадах здания, используется естественная система ирригации. Растения, отобранные для высаживания на этажах Эдитт-Тауэр, должны пройти проверку на совместимость с теми кустами и деревьями, что растут на прилегающей территории, во избежание биологической конкуренции и подавления.

На некоторых уровнях новое здание предполагается соединить мостами с соседними домами, чтобы достаточно легко интегрироваться в городскую среду, что не только обеспечивает и облегчает физическую и визуальную связь, но и становится основой социальных контактов. Еще один социальный и психологический аспект заключается в том, что это здание может легко переоборудоваться. Подобно тому как в природе проходят непрерывные изменения, здание способно постоянно трансформироваться, превращаясь из жилья в офисный комплекс и т. п. Проект предусматривает подвижные и даже заменяемые этажи. Процесс трансформации облегчается тем, что здание представляет собой полносборный объект, все элементы которого собираются вместе механически, так что легко могут быть заменены на новые, улучшенные, либо быть полностью разнообразными.

«Нулевые» – здания, не потребляющие электричество из внешней сети. Примером может служить штаб-квартира отделения китайской национальной табачной компании Гуанчжоу. «Башня жемчужной реки» – это не просто обеспечивающий себя электричеством комплекс, а энергетически автономный небоскреб, использующий энергию солнца и ветра, по форме объема напоминающий дюну. Здесь будет применено все, что уже изобретено для «зеленых» небоскребов: двойное остекление южного фасада с вентиляцией между стеклами; автоматические жалюзи, поворачивающиеся на нужный угол в зависимости от точки солнцестояния и открывающиеся в пасмурную погоду для увеличения естественной освещенности интерьеров; системы сбора дождевой воды и рециркуляции и очистки технической воды. Наряду с традиционными солнечными батареями предполагается установить ветряные турбины на двух технических этажах – закругленные стены здания направляют воздух в сквозные зазоры, а конвертируемые потоки вращают «электрические мельницы».

Измененная технология строительства небоскребов определяется необходимостью обеспечения максимальной безопасности, несколькими уровнями защиты. Предложения членов Ассоциации американских архитекторов заключаются в следующем:

– снаружи фасады должны быть облицованы стальными пластинами, препятствующими воспламенению реактивного топлива врезавшегося в небоскреб самолета, которые будут поглощать взрывную волну;

– междуэтажные бункеры с особыми вентиляционными фильтрами, связанные в единую сеть коридорами со стенами из термостойких материалов, будут препятствовать задымлению;

– этажи должны оборудоваться лазерными спектрометрами, способными распознавать отравляющие и взрывчатые вещества в очень малых концентрациях;

– лифты и пожарные лестницы будут изготовлены из пуленепробиваемых пластин;

– будет разработана рецептура сверхпрочного бетона с добавлением стекловолокна и стали;

– при нехватке мест в гаражах специальные подъемники будут доставлять до уровня квартиры автомобили, которые разместятся на специальных технических террасах.

Все эти инновационные технологии смогут быть реализованы только благодаря тому, что каждая новая высотка – шаг вперед по пути прогресса (рисунок 4.2).

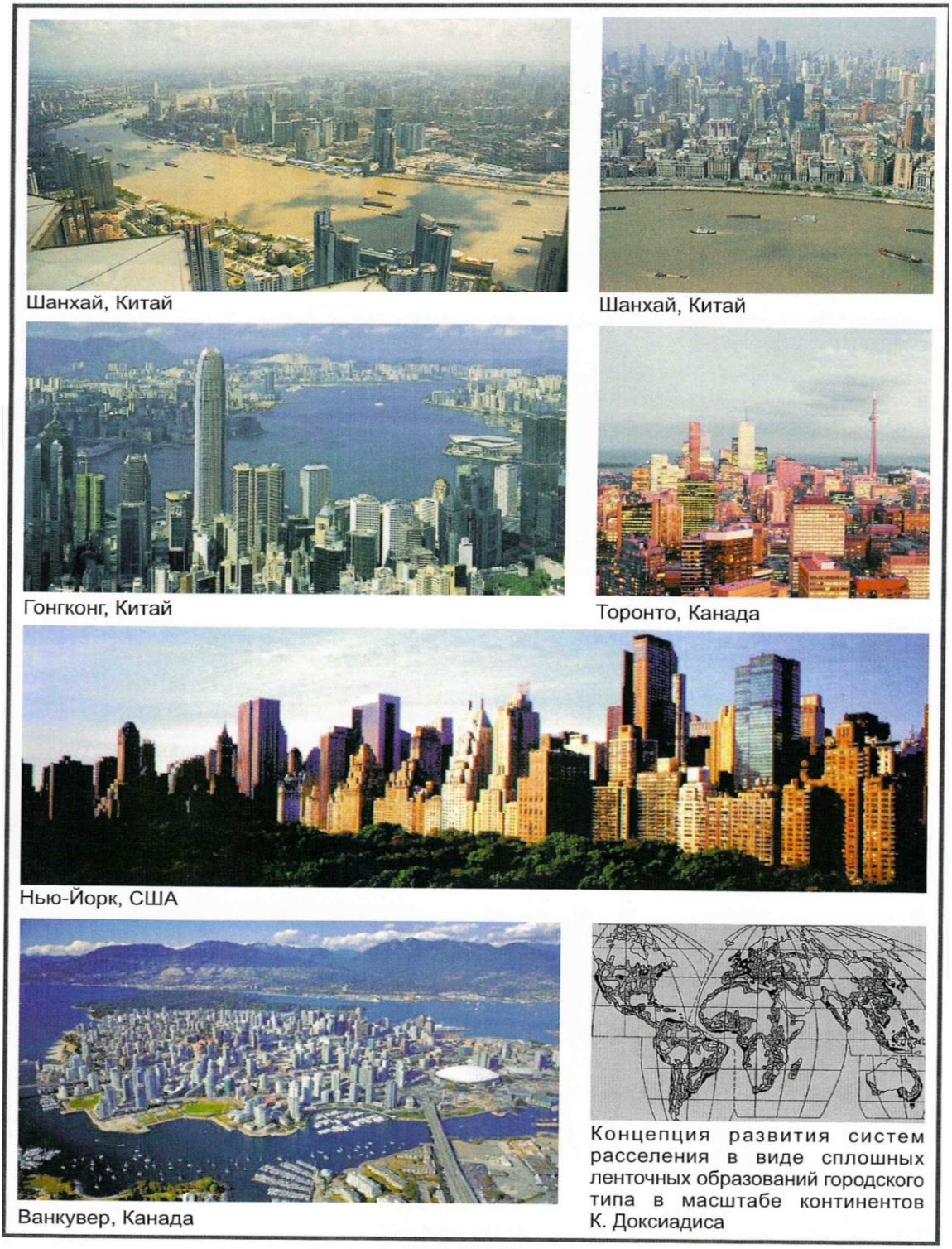

Рисунок 4.2 – Интенсивный рост городского населения, концентрация городских жителей в крупных городах, дефицит территории ведут к поиску новых форм расселения и повышению этажности строительства

Импульс к установлению рекордов высоты перешел от Соединенных Штатов к другим странам с открытием башен-близнецов Петронас в Куала-Лумпуре, Малайзия, в 1998 году. Рекорд самого высокого здания в мире сохраняется в Азии с момента открытия Тайбэй 101 в Тайбэе, Тайвань, в 2004 году. Ряд архитектурных рекордов, в том числе рекорды самого высокого здания в мире и самого высокого отдельно стоящего сооружения, были перенесены на Ближний Восток с открытием Бурдж-Халифы в Дубае, Объединенные Арабские Эмираты (рисунок 4.3).

Рисунок 4.3 – Самое высокое здание в мире **Бурдж-Халифа,** небоскреб в Дубае, Объединенные Арабские Эмираты

Этот географический переход сопровождается изменением подхода к проектированию небоскребов. На протяжении большей части XX века крупные здания принимали форму простых геометрических фигур. Он отражал «международный стиль» или философию модернизма, сформированную архитекторами Баухауса в начале века. Последние из них, Уиллис-Тауэр и башни Всемирного торгового центра в Нью-Йорке, возведенные в 1970-х годах, отражают философию. В последующее десятилетие вкусы изменились, и новые небоскребы начали проявлять постмодернистское влияние. Этот подход к дизайну использует исторические элементы, часто адаптированные и переосмысленные, при создании технологически современных сооружений. Башни-близнецы Петронас напоминают азиатскую архитектуру пагоды и исламские геометрические принципы. Тайбэй 101 также отражает традицию пагоды, поскольку включает в себя древние мотивы, такие как символ жуйи. Бурдж-Халифа черпает вдохновение в традиционном исламском искусстве. В последние годы архитекторы стремились создавать сооружения, которые не выглядели бы одинаково уютно, если бы находились в любой части мира, но которые отражали бы культуру, процветающую в том месте, где они стоят.

5 КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ

Высотные здания во всем мире относятся к объектам самого высокого уровня ответственности и класса надежности. Такие здания и их отдельные конструктивные элементы в процессе возведения и эксплуатации подвергаются действию нагрузок и испытывают усилия, намного превосходящие эффект от внешних воздействий, характерных для обычных объектов строительства. Так, ветровые нагрузки заметно возрастают с удалением от поверхности земли и характеризуются не только существенной статической, но и динамической составляющей. Для большинства высоток горизонтальные (главным образом ветровые) нагрузки превалируют над вертикальными.

Кроме того, в связи с высокими темпами производства строительно-монтажных работ на несущие конструкции, выполненные из монолитного бетона (подавляющее большинство высоток возводят с применением монолитного бетона и железобетона), в раннем возрасте передаются достаточно большие усилия, что требует принятия соответствующих решений.

В современном высотном строительстве применяют различные конструктивные системы и схемы с разнообразными вариантами компоновок (рисунки 5.1, 5.2). Вместе с тем все конструктивные системы можно разделить на три категории: каркасные, стеновые и смешанные (каркасно-стеновые). В свою очередь каркасные системы подразделяются на рамно-каркасные, каркасные с диафрагмами жесткости, каркасно-ствольные. Среди стеновых систем следует выделить схемы с перекрестными стенами и коробчатые (оболочковые). Смешанные системы сочетают в себе отдельные признаки двух других систем, к ним относят каркасно-ствольные и коробчато-ствольные.

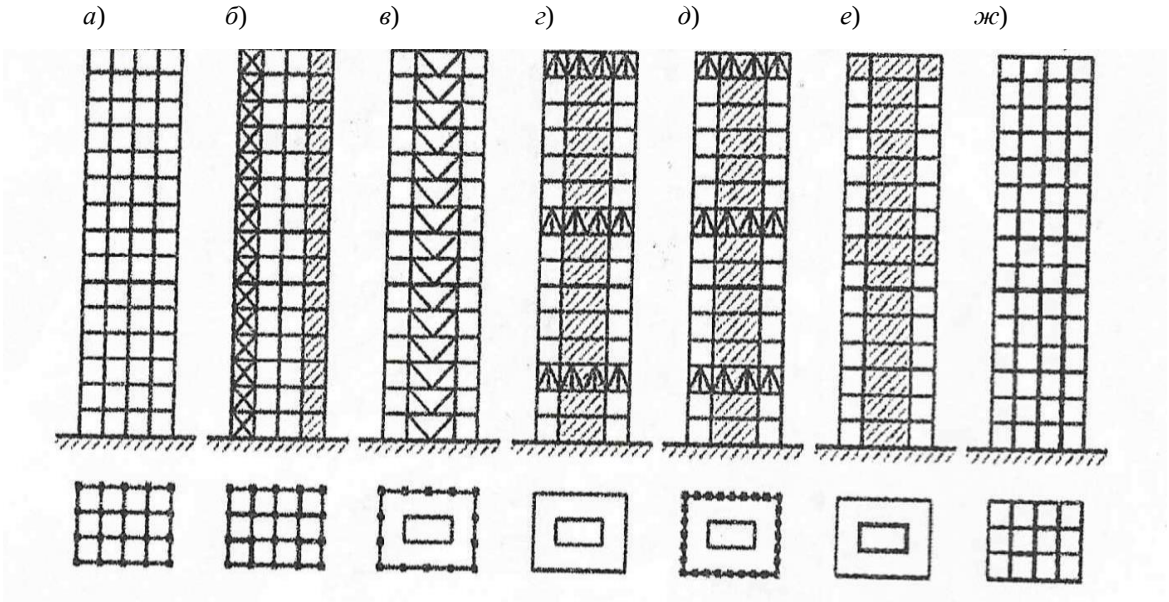

Рисунок 5.1 – Конструктивные схемы высотных зданий:
а – рамно-каркасная; *б* – каркасная с диафрагмами жесткости; *в* – каркасно-ствольная; *г* – коробчато-ствольная; *д* – коробчатая (оболочковая); *е* – ствольная; *ж* – стеновая с поперечными несущими стенами и продольными диафрагмами жесткости

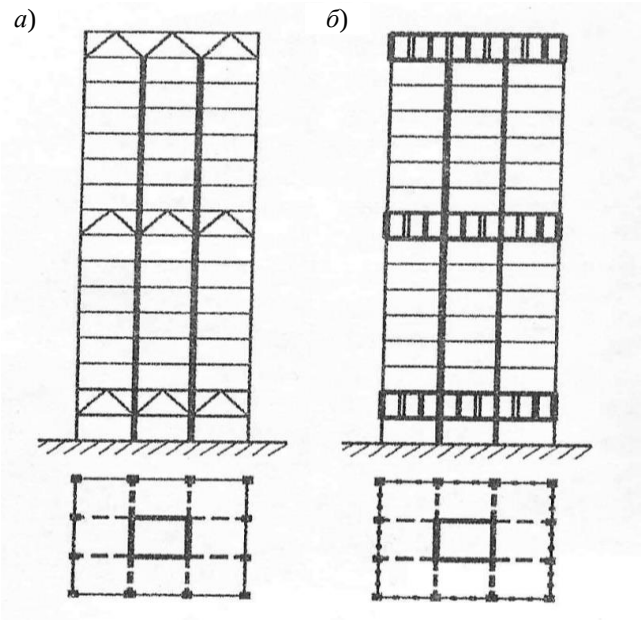

Рисунок 5.2 – Ствольная конструктивные системы с аутригерными элементами:
а – с раскосными фермами; *б* – с безраскосными фермами

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

Высотные здания можно разделить на диапазоны по высоте, для каждого из которых характерны свои конструктивные решения. Границы диапазонов в определенной степени условны в силу перечисленных выше обстоятельств.

Здания высотой до 200–250 м возводят преимущественно с несущим каркасом (рамный каркас, каркас с диафрагмами жесткости). При строительстве жилых домов и гостиниц применяют и перекрестно-стеновую систему, которая благодаря высокой жесткости наиболее эффективна в зданиях высотой до 150 м. Эти конструктивные системы имеют компоновочные схемы, наилучшим образом удовлетворяющие объемно-планировочным решениям и функциональному назначению объектов строительства. В связи с этим необходимо отметить, что независимо от высоты здания при разработке его объемно-планировочного решения максимально стараются придерживаться пропорций, обеспечивающих требуемую жесткость строения и ограничивающих колебания верхней части при знакопеременных горизонтальных нагрузках. Обычно отношение меньшего размера в плане к высоте здания составляет 1:7 – 1:8. При соотношениях, больше указанных, неоправданно увеличивается площадь застройки, а при уменьшении – заметно возрастает деформативность несущего остова, что негативно сказывается как на технико-экономических показателях, так и на пребывании людей на верхних этажах.

Для повышения сопротивления внешним воздействиям несущей системы зданий высотой более 250 м применяют преимущественно ствольные конструктивные системы: «труба в трубе» и «труба в ферме». Их компоновочная схема включает центральный ствол, воспринимающий основную долю всех нагрузок, и расположенные по периметру здания несущие элементы в виде отдельных стоек (колонн), решетчатых систем (ферм, составных стержней и др.), пилонов, которые также могут быть объединены в единую конструкцию. Жесткость ствольной системы, ее устойчивость и способность к гашению вынужденных колебаний обеспечиваются заделкой центрального ствола в фундамент.

В случаях, когда жесткости стеновой, каркасной или ствольной системы недостаточно, прибегают к комбинированным решениям, сочетающим в себе признаки разных конструктивных реше-

ний. В частности, для повышения сопротивления несущего остова здания возрастающим с высотой над уровнем земли ветровым нагрузкам применяют комбинацию ствольной и стеновой систем. В этом случае горизонтальные нагрузки воспринимаются не только внешней оболочкой и центральным стволом, но и внутренними несущими стенами. Комбинированная конструктивная система обладает большей конструктивной гибкостью в части возможности распределения доли воспринимаемых усилий за счет варьирования жесткости несущих элементов остова.

Следует заметить, что повышения сопротивляемости здания ветровым нагрузкам можно достигнуть не только за счет применения соответствующих конструктивных систем, но и путем придания определенной формы в плане. Оптимальной формой плана высотного здания является круг или фигура, близкая по форме к кругу. Эллиптическая и квадратная формы хотя и уступают круглой, но также обеспечивают достаточную сопротивляемость здания горизонтальным нагрузкам. Сопротивление высотного здания совокупности вертикальных и горизонтальных нагрузок зависит не только от очертания в плане, но и от формы вертикального сечения и регулярности структуры несущей системы. В этом отношении к оптимальным очертаниям приближаются трапеция с большим нижним основанием и прямоугольник. Такие профили обладают достаточной поперечной жесткостью, особенно в сочетании с регулярной структурой несущей системы. При сооружении высотного комплекса, состоящего из нескольких объемов, последние следует соединять шарнирно, чтобы в случае воздействий чрезвычайного характера, в том числе динамических нагрузок, не передавать на соседние строения дополнительные усилия.

Для возведения высотных зданий применяют материалы с особыми качествами. В первую очередь, это относится к прочности и деформативности, поскольку именно данные показатели определяют общую прочность остова здания и его устойчивость к различного рода внешним воздействиям.

Современные высотные здания возводят из высокопрочного бетона и стали, преимущественно монолитного бетона и железобетона. Сборные железобетонные изделия находят ограниченное применение, главным образом в качестве составных элементов сборно-монолитных диафрагм жесткости или несъемной опалубки вертикальных и горизонтальных несущих конструктивных элементов.

Для стеновых систем используют высокоподвижные и литые бетоны класса по прочности на сжатие С30/37 и выше (В40 и выше по классификации СНиП 2.03.01-84*). Армирование стеновых конструкций выполняют арматурой класса S500. В практике высотного строительства Российской Федерации получила широкое распространение арматура класса Ат500С по ГОСТ 10884-94, которую применяют для рабочего армирования как в растянутой, так и сжатой зоне сечения.

Стойки каркасных систем – колонны, пилоны и другие аналогичные элементы – возводят с применением так называемого высокопрочного и высококачественного бетона, прочность на сжатие которого достигает 100 МПа и более. Это бетоны с заданными свойствами, определенными из условий технологии производства работ и обеспечения требований безопасности, в том числе в случае пожара. Для бетонирования элементов, густо насыщенных арматурой, применяют литые самоуплотняющие бетонные смеси, модифицированные химическими добавками в зависимости от технологии производства бетонных работ.

В современных небоскребах крайне редко можно встретить чисто стальные или железобетонные в традиционном понимании (с обычным процентом армирования) конструкции. Габаритные размеры колонн и количество рабочей арматуры определяются целым рядом факторов и зависят от тех конкретных требований, которые инженер предъявляет к несущей системе здания.

Конструкция колонн, расположенных по периметру здания со ствольной несущей системой, в значительной мере определяет его способность к сопротивлению действующим нагрузкам. Для гашения ускорений и уменьшения амплитуды колебаний верхних этажей в этих местах устраивают колонны с демпфирующими свойствами, которые способствуют ограничению раскачивания строения.

Стены высотных зданий независимо от того, несущие ли это конструкции или диафрагмы жесткости, выполняют из менее прочных бетонов по сравнению с применяющимися для устройства колонн, но, как правило, прочность бетона в стенах составляет не менее 40 МПа. В высотных зданиях несущую стеновую систему устраивают с применением монолитного бетона. Это обусловлено

необходимостью придания остову максимально возможной жесткости, которую технически сложно обеспечить в сборном и сборно-монолитном варианте.

В зданиях большой этажности особенность стеновых систем заключается в повышенной чувствительности к неравномерным деформациям силового и усадочного характера. Эти деформации в сочетании с традиционно небольшим процентом армирования могут привести к образованию трещин и нарушению сплошности стеновых конструкций. И если в обычных зданиях подобные дефекты не оказывают существенного влияния на работу здания, то в высотных строениях они могут заметно изменять жесткостные параметры несущего остова и снижать его сопротивление силовым и температурно-климатическим воздействиям.

В местах пересечения или сопряжения стен разных направлений для уменьшения влияния концентраторов напряжений в виде входящих углов устраивают вуты, которые дополнительно армируют для повышения трещиностойкости наиболее уязвимых участков конструкции.

Наружные стены, подвергающиеся в процессе строительства и эксплуатации значительным силовым и температурно-климатическим воздействиям, проектируют с учетом конструктивных систем высотных зданий. В каркасных системах и их разновидностях с колоннами, расположенными по периметру, применяют навесные конструкции. Как правило, это легкие элементы с листовыми обшивками из стали или алюминия и средним теплоизоляционным слоем. В последнее время получили распространение навесные стеновые панели с применением закаленного и армированного стекла. Такие конструкции при требуемой по условиям эксплуатации прочности и жесткости имеют малый вес, что весьма актуально для строений, высота которых может достигать нескольких сотен метров, с точки зрения максимально возможного снижения нагрузок на несущие элементы каркаса, фундаменты и грунты основания.

Технические решения междуэтажных перекрытий высотных зданий отличаются большим разнообразием и зависят от конструктивной системы несущего остова, этажности здания, его габаритных размеров в плане и действующих на перекрытия вертикальных и, что особенно важно, горизонтальных нагрузок. При относительно небольшом шаге колонн (до 7,2 м), а также в зданиях со стеновыми конструктивными системами применяют плоские монолитные железобетонные перекрытия. Армирование таких конструкций выполняют по направлениям силовых потоков, возникающих в дисках перекрытий от вертикальных и горизонтальных нагрузок. С увеличением шага колонн или стен конструкций прибегают к устройству несущих балок, расположенных в одном или двух направлениях.

В большинстве современных высотных зданий, имеющих, как правило, достаточно большую глубину, при компоновке объемно-планировочного решения стремятся максимально открыть внутреннее пространство и освободить его от несущих элементов. Это продиктовано как необходимостью создания условий для свободной планировки этажей, так и требованиями противопожарной защиты вертикальных несущих конструкций. Последние при относительно большом шаге целесообразно располагать в угловых зонах помещений и других местах с ограниченным доступом и обзором. При этом колонны, пилоны и другие элементы могут быть защищены от воздействия высоких температур и декоративно оформлены.

При шаге несущих конструкций более 9 м применение плоских или ребристых монолитных железобетонных перекрытий с обычной стержневой арматурой становится экономически и технически нерациональным. В этом случае используют ребристые перекрытия, в которых балки армируют жесткой арматурой из прокатных или сварных стальных профилей. Использование жесткой арматуры в первую очередь продиктовано необходимостью ограничения прогибов, а также повышения огнестойкости перекрытия.

Несмотря на достаточно высокие технико-экономические и эксплуатационные показатели монолитного железобетона, такие конструкции имеют достаточно большой собственный вес, что в ряде случаев приводит к дополнительному увеличению материалоемкости колонн и фундаментов. В практике строительства высотных зданий в США и ряде других стран получили распространение сталебетонные сборно-монолитные конструкции перекрытий. Они представляют собой систему несущих стальных балок (балочную клетку), объединенных по верху монолитной железобетонной плитой. Для устройства плиты применяют несъемную опалубку из профилированного стального настила, который в замоноличенной конструкции выполняет функции внешнего армирования.

Лестнично-лифтовые узлы (ЛЛУ) высотных зданий играют особую роль в обеспечении сообщения между этажами и эвакуации людей в случае возникновения чрезвычайных ситуаций. В зависимости от компоновочного и объемно-планировочного решения ЛЛУ могут совмещать функции путей сообщения и эвакуации или выполняться раздельно. В обоих случаях к их техническому оснащению предъявляют определенные требования, связанные с обеспечением параметров безопасности.

Обычно ЛЛУ располагают в центральной части высотных зданий. Как правило, он размещается в пределах центрального ствола строений с каркасно-ствольной, коробчато-ствольной или аналогичными несущими системами. Предел огнестойкости конструкций лестнично-лифтового узла принимают по национальным нормам проектирования, и в большинстве случаев он составляет 2 ч. Исходя из этого показателя, назначают толщину стен и перекрытий и выполняют их проектирование.

Хороший конструктивный дизайн важен при проектировании большинства зданий, но особенно для небоскребов, поскольку даже небольшая вероятность катастрофического разрушения неприемлема, учитывая огромный ущерб, который может нанести такое разрушение. Это представляет парадокс для инженеров-строителей: единственный способ гарантировать отсутствие сбоев – это проверить все виды отказов, как в лаборатории, так и в реальном мире. Но единственный способ узнать обо всех способах отказа – это извлечь уроки из предыдущих отказов. Таким образом, ни один инженер не может быть абсолютно уверен, что данная конструкция выдержит все нагрузки, которые могут вызвать отказ; вместо этого можно иметь только достаточно большой запас прочности, чтобы отказ был приемлемо маловероятен. Когда здания действительно рушатся, инженеры задаются вопросом, произошло это из-за какой-то недальновидности или из-за неизвестного фактора.

Нагрузка, которую испытывает небоскреб, в значительной степени зависит от силы самого строительного материала. В большинстве строительных конструкций вес конструкции намного превышает вес материала, который она будет поддерживать сверх собственного веса. В техническом плане мертвый груз, нагрузка, структура больше, чем нагрузка, масса вещей, в структуре (люди, мебель, автомобили, и т. д.). Таким образом, сумма строительных материалов, необходимых в нижних уровнях небоскреба будет намного больше, чем необходимый материал в более высоких уровнях. Это не всегда заметно визуально. Неудачи Эмпайр Стейт Билдинг на самом деле являются результатом тогдашних строительных норм (Резолюция о зонировании 1916 года) и не требовались с точки зрения конструкции. С другой стороны, форма Центра Джона Хэнкока является уникальным результатом того, как он выдерживает нагрузки. Вертикальные опоры бывают нескольких типов, среди которых наиболее распространенными для небоскребов являются стальные каркасы, бетонные стержни, конструкция «труба в трубе» и сдвиговые стенки.

Ветровая нагрузка на небоскреб также значительна. Фактически, боковая ветровая нагрузка, оказываемая на сверхвысокие конструкции, как правило, является определяющим фактором при проектировании конструкции. Давление ветра увеличивается с высотой, поэтому для очень высоких зданий нагрузки, связанные с ветром, больше, чем мертвые или действующие нагрузки.

Другие факторы вертикальной и горизонтальной нагрузки возникают из различных, непредсказуемых источников, таких как землетрясения.

К 1895 году сталь заменила чугун в качестве конструкционного материала небоскребов. Его пластичность позволяла придавать ему различные формы, и его можно было склепывать, обеспечивая прочные соединения. Простота стального каркаса устранила неэффективную часть поперечной стенки, центральную часть, и значительно укрепила опорные элементы, позволив использовать как горизонтальные, так и вертикальные опоры по всему периметру. Одним из недостатков стали является то, что по мере увеличения высоты необходимо поддерживать больше материала, расстояние между опорными элементами должно уменьшаться, что, в свою очередь, увеличивает количество материала, который необходимо поддерживать. Это становится неэффективным и неэкономичным для зданий высотой выше 40 этажей, поскольку полезная площадь помещений уменьшается из-за несущих колонн и из-за большего использования стали.

Новая конструктивная система из каркасных труб была разработана Фазлуром Рахманом Ханом в 1963 году. Каркасная трубчатая конструкция определяется как «трехмерное пространственное сооружение, состоящее из трех, четырех или, возможно, более рам, скрепленных каркасами или

сдвигающимися стенами, соединенных по краям или вблизи них с образованием вертикальной трубчатой конструктивной системы, способной противостоять боковым силам в любом направлении за счет консольного опирания на фундамент». Близко расположенные взаимосвязанные наружные колонны образуют трубу. Горизонтальные нагрузки (в первую очередь ветер) поддерживаются конструкцией в целом. Каркасные трубы допускают меньшее количество внутренних колонн и, таким образом, создают больше полезной площади пола, а около половины внешней поверхности отведено под окна. Там, где требуются большие проемы, такие как гаражные ворота, трубчатый каркас приходится прерывать, используя передаточные балки для поддержания целостности конструкции. Трубчатые конструкции снижают затраты, в то же время позволяя зданиям достигать больших высот. Конструкция из бетонных трубчатых каркасов впервые была использована в многоквартирном доме Девитт-Честнат, построенном в Чикаго в 1963 году, и вскоре после этого – в Центре Джона Хэнкока и Всемирном торговом центре.

Трубчатые системы являются основополагающими для проектирования высотных зданий. Большинство зданий высотой более 40 этажей, построенных с 1960-х годов, в настоящее время используют трубчатую конструкцию, основанную на конструктивных принципах Хана, примерами являются строительство Всемирного торгового центра, Аон-центра, башень Петранос, башни Цзинь Мао и большинства других сверхвысоких небоскребов с 1960-х годов. Сильное влияние трубчатой конструкции также очевидно при строительстве самого высокого небоскреба в настоящее время, Бурдж-Халифы.

Изменения конструкции с высотой, трубчатые системы являются основополагающими для сверхвысоких зданий.

Хан был пионером в разработке нескольких других вариантов трубчатой конструкции. Одной из них была концепция крестообразного крепления, или стропильной трубы, впервые примененной для Центра Джона Хэнкока. Эта концепция позволила снизить боковую нагрузку на здание за счет передачи нагрузки на наружные колонны. Это позволяет снизить потребность во внутренних колоннах, создавая тем самым большую площадь помещения. Эту концепцию можно увидеть в Центре Джона Хэнкока, спроектированном в 1965 году и завершенном в 1969 году. Отличительный внешний вид небоскреба с крестообразными креплениями на самом деле является намеком на то, что обшивка сооружения действительно является частью его «трубчатой системы». Эта идея является одним из архитектурных приемов, использованных зданием для подъема на рекордную высоту (трубчатая система, по сути, является позвоночником, который помогает зданию стоять вертикально при ветровых и сейсмических нагрузках). Это Х-образное крепление обеспечивает как более высокую производительность высотных конструкций, так и возможность расширить внутреннюю планировку (и полезную площадь этажа) по желанию архитектора.

Центр Джона Хэнкока был намного эффективнее, чем более ранние конструкции со стальным каркасом. Если для Эмпайр Стейт Билдинг (1931) требовалось около 206 килограммов стали на квадратный метр, а для Либерти-стрит, 28 (1961) – 275, то для Центра Джона Хэнкока потребовалось всего 145. Концепция стропильной трубы была применена ко многим более поздним небоскребам, включая Onterie Center, Ситигруп-центр и башню Банка Китая.

Комплектная труба. Важной разновидностью трубчатого каркаса является комплектная труба, в которой используется несколько соединенных трубчатых каркасов. В Уиллис Тауэр в Чикаго применяли эту конструкцию, используя девять труб различной высоты для придания ему отчетливого внешнего вида. Трубчатая конструкция означала, что зданиям больше не нужно быть похожими на коробки: они могли бы стать скульптурами.

Труба в трубе. Система «труба в трубе» использует преимущества труб со сдвигающимися стенками в дополнение к наружным трубам. Внутренняя и внешняя трубы работают вместе, чтобы противостоять гравитационным и боковым нагрузкам и обеспечивать дополнительную жесткость конструкции для предотвращения значительных прогибов наверху. Этот дизайн был впервые использован в Ван Шел Плаза. Более поздние здания, в которых использовалась эта конструктивная система, включают башни Петронас.

Выносные и ленточные фермы. Система выносных и ленточных ферм представляет собой систему, устойчивую к боковой нагрузке, в которой трубчатая конструкция соединена с центральной стенкой каркаса очень жесткими выносными и ленточными фермами на одном или нескольких

уровнях. BHP House был первым зданием, в котором использовалась эта структурная система, за которым последовал Первый Висконсинский центр, впоследствии переименованный в Банковский центр США, в Милуоки. Высота центра составляет 601 фут, с тремя ленточными фермами внизу, в середине и наверху здания. Открытые ленточные фермы служат эстетическим и конструктивным целям. Более поздние здания, в которых это использовалось, включают Шанхайский всемирный финансовый центр.

Бетонные трубчатые конструкции. Последними крупными зданиями, спроектированными Ханом, были Ван Магнифисент Майл и Onterie Center в Чикаго, в которых использовались его конструкции с пучковыми трубами и ферменной системой труб соответственно. В отличие от его ранних зданий, которые были в основном стальными, его последние два здания были бетонными. Его более раннее здание Девитт-Честнат, построенное в 1963 году в Чикаго, также было бетонным зданием с трубчатой конструкцией. Башня Трампа в Нью-Йорке также является еще одним примером адаптации этой системы.

Система взаимодействия каркаса стены со сдвигом. Хан разработал систему взаимодействия каркаса стены со сдвигом для среднеэтажных зданий. В этой конструктивной системе используются комбинации стен со сдвигом и каркасов, предназначенных для противодействия боковым силам. Первым зданием, в котором использовалась эта конструктивная система, было 35-этажное здание Брансуик Билдинг. Здание в Брансуике было завершено в 1965 году и стало самым высоким железобетонным сооружением своего времени. Конструктивная система здания Брансуик Билдинг состоит из бетонной сердцевины сдвиговой стены, окруженной внешним бетонным каркасом из колонн и шпангоутов. Многоквартирные дома высотой до 70 этажей успешно использовали эту концепцию.

6 СТРОИТЕЛЬСТВО ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ В БЕЛАРУСИ

Высотные здания как архитектурные акценты в ближайшее время появятся и в столице нашего государства – городе Минске. Генеральная стратегия пространственного развития города, формирование застройки его центра, районов, магистралей, проспектов и водно-зеленого диаметра, площадей и въездов в город должны быть основой градостроительной политики, главным объектом проектирования. Поэтому назрела необходимость разработки концептуального проекта силуэта Минска и его архитектурных ансамблей, которые станут «золотыми точками» столицы.

Первый из них – Международный деловой информационно-маркетинговый и торгово-выставочный центр, запроектированный для центральной части Минска на пересечении пр. Победителей с ул. Орловской, около реки Свислочь и существующего Национального выставочного центра «БелЭкспо». Его местоположение полностью соответствует концепции строительства высотных зданий в столице.

Композиция комплекса построена на контрастном сочетании различных по форме и высоте геометрических объемов двух вертикалей здания, постепенно нарастающих по высоте и доминирующих в пространстве. Подчеркнутая простота, четкость форм и конструкций создадут выразительный, своеобразный, запоминающийся архитектурно-художественный образ, отвечающий его активной градоформирующей роли в композиции силуэта центра города Минска и пр. Победителей.

Общая объемно-пространственная композиция, характерный только для Минска образ комплекса органически связаны с существующим Национальным выставочным центром «БелЭкспо», перспективой его развития (2-я очередь – 12 тыс. м^2 экспозиционных площадей) и его специфическими функциональными особенностями, планировочной структурой.

Согласно объемно-планировочному решению, в 70-этажном корпусе разместятся офисы – рабочие комнаты, медиа-, бизнес-центры, а в 75-этажном корпусе – офисы, гостиница на 1000 мест, в 4-этажном стилобате с атриумом – все зальные помещения, конференц-зал на 1000 мест, пресс-центр. Ресторан «Огни Минска» расположится на 70-м и 75-м этажах. Полнокровное функционирование всех составляющих этого крупного архитектурного комплекса обеспечат конструктивно-технологические решения.

Вторая акцентная доминанта, предлагаемая для Минска, – жилое образование «Веснинка». Проектируемый участок находится в районе пр. Победителей – водохранилище «Дрозды» – и охватывает территорию в 41 га. С восточной стороны размещается малоэтажная коттеджная застройка. С юга и юго-запада будет построен новый жилой район «Лебяжий», также повышенной этажности.

Возведение на ответственном градостроительном участке, формирующем въезд в столичный город с северо-западного направления, высотного жилого образования вполне закономерно: яркий, запоминающийся архитектурный ансамбль явится очередной качественной ступенью развития города.

Объемно-пространственное решение всего комплекса построено по принципу максимального сохранения зеленых насаждений и создания ландшафтно-парковых ансамблей, связывающих жилую территорию с парковой зоной, а также водной акваторией. С этой целью застройка центральной части квартала в уровне двух первых этажей поднята на опоры.

На живописном участке, обращенном в сторону водной акватории, расположится лаконичный по форме образ короны из 5 высотных жилых объемов (до 40 этажей), которые объединены развитым многофункциональным подиумом на уровне 3–8-го этажей, обращенным в сторону водохранилища «Дрозды». На его 3-м этаже разместятся кафе и рестораны, объекты бытового обслуживания и др. 4–6-й уровень подиума будет занят жильем, решенным в виде террасированной застройки, обращенной на юг в сторону зеленого кольца.

Высотные здания должны быть градостроительными акцентами и отличаться от окружающей застройки, что предполагает высокое, прежде всего, архитектурно-художественное качество. Как следствие, высотки требуют особого, индивидуального подхода, более продуманных авторских решений и соответствующих финансовых затрат по сравнению с проектами массовой застройки.

Белорусские небоскребы не попадают даже в топ-170 европейских высоток. А в мировом рейтинге не войдут даже в топ-5000, где все здания выше 150 м.

Высокие здания Беларуси описаны в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – **Высокие здания в Беларуси**

Название	Фото	Город	Высота архитектурная, м	Этажность	Год постройки
ЖК «Лазурит»		Минск	138,6	37	2022
Парус		Минск	133	32	2015
Роял Плаза		Минск	130	32	2014
Славянский квартал		Минск	109	29	2012
D3		Минск	105	28	2019
Аркадия		Минск	101	27	2019
Футурис		Минск	100	25	2019
Каскад		Минск	97	26	2016
Здание «Белбыттехпроект»		Минск	90	20	1983
DoubleTree by Hilton Hotel Minsk		Минск	90	21	2016

За минувшее столетие белорусская столица сильно выросла не только вширь, но и вверх. В XXI в. здесь появились небоскребы, то есть здания выше 100 м. На сегодня самое высокое здание столицы – ЖК «Лазурит» (рисунок 6.1). Этот дом расположился на пересечении пр. Победи-

телей и ул. Нарочанской. Его высота – 138,6 м вместе со шпилем. Две центральные секции имеют 37 этажей, боковые части (по три секции с каждой стороны) переменной этажности – 17, 15 и 13 этажей. Это выводит его на первое место среди столичных небоскребов.

Рисунок 6.1 – Здание ЖК «Лазурит»

Второй, если считать общую высоту здания, – ЖК «Парус» (рисунок 6.2). Он построен в 2014 г. на ул. Кальварийской неподалеку от ст. м. «Фрунзенская». В жилом комплексе 34 этажа, а его высота составляет 133 м с учетом технических надстроек на крыше и шпиля. Высота уровня крыши – 114 м.

Рисунок 6.2 – Здание ЖК «Парус»

На 31-м этаже расположены четыре пентхауса – это двухуровневые апартаменты, в каждом из которых по 3–7 комнат и лоджия. Жильцов поднимают вверх по три высокоскоростных лифта в двух подъездах и панорамный лифт в административной части здания.

Третье место у бизнес-центра «Роял Плаза» около ст. м. «Немига» (рисунок 6.3). Он построен в 2014 г. на месте бывшего кафе «Реченька» возле магазина «Ромашка». Здесь 33 этажа, а высота здания составляет 130 м со шпилем. Зато крыша – на 116 м, так что, если измерять по ней, то «Роял Плаза» обходит «Парус». В здании разместились торговые объекты, основную его часть, с 4-го по 30-й этажи, заняли офисы, а на самом верху расположен ресторан с шикарным видом на Минск.

Рисунок 6.3 – Бизнес-центр «Роял Плаза»

Многие минчане считают, что самая высокая точка столицы находится в районе Юбилейной площади. Возможно, это мнение сформировалось из-за того, что расположенное здесь здание института «Белбыттехпроект» четверть века оставалось самым высоким в городе. Оно имеет 24 этажа, последние 6 – технические (рисунок 6.4).

Гигант высотой 90 м появился на территории бывшего Юбилейного колхозного рынка. Она была видна практически из любого уголка города. Еще в начале XXI в. об этом здании говорили как о самом высоком минском доме. Эта новость трансформировалась в мнение, что и сама Юбилейная площадь расположена на самом высоком месте города. «Белбыттехпроект» до сих пор входит в топ-10 самых высоких зданий Беларуси.

К слову, это не отдельное здание. Его проектировали в комплексе с домом быта, но вместо него появился Дом моды.

Рисунок 6.4 – Здание института «Белбыттехпроект»

Самым (рисунки 6.5, 6.6) высоким зданием в г. Гомеле является строящийся 24-этажный жилой дом. Ввод его в эксплуатацию намечен на 2025 год. Участок проектирования расположен в Центральном районе города. Территория непосредственно ограничена существующей жилой застройкой. Жилой дом № 17 в микрорайоне № 18 в Гомеле находится в самом начале улицы Мазурова возле супермаркета Green. Жилой дом будет возводиться на первой линии. В непосредственной близости к территории проектирования расположены два озера и протока реки Сож.

Здание жилого дома – односекционное, 24-этажное, с техническим подпольем и теплым чердаком, в плане прямоугольной формы с размерами 22,05×33,28 м.

Наружные стены – железобетонные панели со сплошным утеплением; внутренние стены и перегородки – железобетонные панели. Кровля плоская рулонная с внутренним водостоком.

На первом этаже запроектированы коммерческие помещения под магазины, кафе, офисные помещения, парикмахерские. На 2–24-м этажах запроектированы жилые помещения. Жилой дом будет оборудован четырьмя лифтами.

Общий вид со стороны ул.Головацкого

Общий вид со стороны ул.Мазурова

Рисунок 6.5 – 24-этажные жилые дома в микрорайоне № 18 в г. Гомеле

Рисунок 6.6 – Архитектурная подсветка 24-этажного жилого КПД в микрорайоне № 18 в г. Гомеле
(ОАО «Гомельпроект, ГАП – Бельтюкова И. И.)

Применяемая панельная технология, которая позволяет построить жилье, доступное широкому кругу покупателей. В качестве наружных стен запроектированы однослойные несущие стеновые панели толщиной 160 мм с утеплением снаружи минераловатными плитами и отделкой в системе навесного вентилируемого фасада и легкой штукатурной системы.

На входе в подъезды устанавливаются двери с домофонной системой, в технические помещения – стальные двери.

Архитектурно-планировочные решения. Проектом предусмотрено возведение крупнопанельного жилого дома (поз. № 17 по г. п.) со встроенными объектами социальной инфраструктуры.

Отметка основного парапета здания – +71,480; отметка парапета надстройки над кровлей – +74,050.

Категория жилого дома по условиям проживания – «В».

За относительную отметку 0,000 принята отметка уровня чистого пола лифтового холла первого этажа (входная группа жилой части дома), соответствующая абсолютной отметке 214,20.

Высота первого этажа – 3,75 м; типового жилого этажа – 2,8 м; высота технического подполья – 2,78 м, теплого чердака – 1,9 м (от пола до низа плиты покрытия).

Техподполье предназначено для прокладки инженерных коммуникаций и размещения технических помещений жилого дома и встроенных помещений (ИТП, водомерный узел, помещение АДУ, насосная, помещение ввода кабелей).

На первом этаже расположена группа помещений входа в жилой дом, состоящая из двойного теплового тамбура, лифтового холла; встроенные помещения.

На 2–24-м этажах запроектированы жилые квартиры, внеквартирные помещения (коридоры, лифтовые холлы). Часть перегородок между жилыми комнатами и кухней (прихожей) не возводятся застройщиком, установка внутриквартирных дверей не предусматривается.

Всего в жилом доме размещено 184 квартиры: трехкомнатные – 46 кв., двухкомнатные – 92 кв. (из них 69 с кухнями-нишами, объединенными в единое пространство с жилыми комнатами); однокомнатные квартиры-студии – 46 кв. (с кухнями-нишами, объединенными в единое пространство с жилой комнатой). В каждой квартире имеются летние помещения (балконы, лоджии).

В жилом доме запроектирована лестничная клетка типа Н1 и четыре лифта, два из которых имеют габаритные размеры кабины не менее 2,1×1,1 м. Из каждой квартиры имеется один эвакуационный выход на лестничную клетку.

Для этажей с отметкой пола 15 м и более из каждой квартиры предусмотрен второй эвакуационный выход на лоджию с глухим простенком шириной 1,2 м.

Окна и балконные двери жилого дома приняты из ПВХ-профилей по СТБ 1108-2017 с двухкамерным стеклопакетом. В оконных блоках предусмотрены вентиляционные устройства для режима микропроветривания. Все окна и открывающиеся створки остекления лоджий оборудованы детскими замками безопасности.

Остекление лоджий – алюминиевая стоечно-ригельная витражная система с заполнением одинарным остеклением, с открывающимися створками (100 %).

Глухая нижняя часть остекления (высотой не менее 1,1 м) предусмотрена из тонированного многослойного безопасного стекла.

Наружные двери – алюминиевый витраж с охранно-переговорным устройством, входные двери в квартиры – стальные усиленные, двери в технические помещения – стальные.

Встроенные помещения – объекты социальной инфраструктуры, помещения класса функциональной пожарной опасности ФЗ (по СН 2.02.05) без определенной технологии: помещения по обслуживанию населения (с большей численностью посетителей, чем обслуживающего персонала). В проектируемом объеме возможно размещение предприятий торговли, аптек, предприятий общественного питания, бытового и коммунального обслуживания (кроме относящихся к

классам Ф1.2, Ф3.6, Ф4.4), юридических консультаций, нотариальных контор и других подобных объектов. Общее количество независимых встроенных объектов – 5.

Проектом не предусматривается планировочное выделение отдельных помещений в структуре каждого из встроенных объектов (выполняется силами будущих владельцев (арендаторов) после определения четкого функционального назначения и разработки детальных технологических решений). По функциональному зонированию внутреннее пространство каждого из объектов разделено на несколько групп: зона основных помещений; зона для устройства помещений уборочного инвентаря и санитарных узлов; зона загрузки (в составе объекта № 1); техническая зона с расположенными в ней помещениями инженерных коммуникаций: электрощитовая (запроектирована в объеме первого этажа с проходом к ней через внеквартирные помещения жилой части дома), помещение ИТП и водомерный узел (расположены в техподполье жилого дома).

Дополнительно в составе объектов № 1 и 4 выделяются зоны служебного пользования, в границах которых возможно устройство вспомогательных и служебных помещений без постоянного пребывания людей.

Объект № 1 запроектирован с закрытой загрузочной (загрузка предусмотрена со стороны магистральной улицы).

Окна и витражи – алюминиевый профиль (с ламинацией профиля со стороны фасадов) с двухкамерным стеклопакетом, оснащены вентиляционными устройствами для режима микропроветривания.

Двери – остекленные из алюминиевого профиля, стальные; ворота в загрузочное помещение – алюминиевые секционные.

Внутренняя отделка в технических помещениях: потолки – акриловая, клеевая покраска; стены – акриловая покраска, масляная покраска (панель); покрытие полов – керамическая плитка, бетонное; в остальных встроенных помещениях: стены – оштукатуривание; полы – стяжка; в квартирах – не предусматривается.

Наружная отделка: основные плоскости стен – вентилируемый фасад с отделкой металлическими композитными кассетами; участки стен – с отделкой из металлопрофиля; стены первого этажа, элементы порталов первого этажа, цоколь – вентилируемый фасад с отделкой керамогранитной плиткой. Стены остекленных летних помещений и переходных лоджий – защитно-отделочная штукатурка с покраской фасадной воднодисперсионной акриловой краской.

Отделка боковых поверхностей крылец – штукатурка минеральная выравнивающая для бетонных оснований с последующей окраской фасадными силикон-модифицированными красками на акриловом связующем.

Мероприятия по созданию безбарьерной среды обитания для физически ослабленных лиц. Входы во встроенные помещения и жилую часть дома организованы с уровня земли, без перепадов высот; перед входами запроектированы площадки размером в плане не менее 1,8×1,8 м, защищенные от атмосферных осадков; вход в лифтовой холл жилого дома предусмотрен через двойной тамбур размером не менее 2,2×2,2 м (при движении с поворотом); входные группы жилого дома и встроенных помещений оснащены звуковыми (речевыми) информаторами с дистанционным управлением; разница между отметками полов лифтового холла, тамбура и крыльца, перепад высот в дверном проеме между уровнем чистого пола встроенных помещений и площадкой не превышает 0,02 м; светопрозрачное заполнение входных наружных и тамбурных остекленных дверей выполнено из ударопрочного закаленного стекла с нанесением яркой цветной маркировки; внизу полотен предусмотрено устройство противоударной полосы; предусмотрено оснащение жилого дома тактильной, визуальной и речевой информацией для ФОЛ; в составе каждого из встроенных объектов запроектирована зона санитарных узлов с возможностью устройства санузла для физически ослабленных лиц.

Энергоэффективность. Здание жилого дома запроектировано компактным в плане. Вход в жилую часть здания организован через двойной тепловой тамбур. Предусмотрено остекление

летних помещений квартир. Сопротивление теплопередаче оконных блоков принято не менее 1,0 $м^2 \cdot С/Вт$.

Конструктивные решения. Конструктивные решения индивидуального 24-этажного жилого дома КПД, с техническим подпольем и техническим чердаком, разработаны с учетом номенклатуры конструкций, конструктивных узлов и изделий типового проекта серии 152М-3.14.

Основные конструктивные отличия от серии 152М-3.14: несущие конструкции подвала и 1-го этажа (встроенные помещения), а также перекрытия над 1-м этажом, на которые опираются несущие стеновые панели 2-го жилого этажа, запроектированы монолитными и сборно-монолитными; опирание стеновых панелей 2-го этажа на ребристое монолитное перекрытие над 1-м этажом осуществляется через индивидуально разработанные монтажные узлы; индивидуальные архитектурно-планировочные решения с существенно отличающейся планировкой квартир, расположением внутренних несущих стеновых панелей, увеличенным пролетом межэтажных сборных железобетонных плит перекрытия с 3,6 до 4,8 м и измененным внешним контуром здания; в качестве наружных стен вместо 3-слойных ненесущих стеновых панелей толщиной 350 мм запроектированы однослойные несущие стеновые панели толщиной 160 мм с утеплением снаружи минераловатными плитами с отделкой в системе навесного вентилируемого фасада и легкой штукатурной системы.

Конструктивная схема здания – комбинированная, в подвале и на первом этаже – каркасно-стеновая. Несущие конструкции в подвале: монолитные железобетонные колонны сечением 600×600 мм из бетона класса С30/37; несущие внутренние и наружные стены из сборных бетонных фундаментных блоков ФБС из бетона С16/20 W4 серии Б 1.016.1-1 на растворе М l00; несущие сборные железобетонные стены толщиной 200 и 160 мм (в зоне лестнично-лифтового блока) из бетона класса С30/37. Плиты перекрытия над подвалом – сборные железобетонные толщиной 160 мм из бетона класса С25/30, уложенные по монолитному поясу высотой 280 мм из бетона класса С25/30.

Несущие конструкции 1-го этажа: монолитные железобетонные колонны сечением 600×600 мм из бетона класса С30/37; несущие сборные железобетонные стены толщиной 200 и 160 мм (в зоне лестнично-лифтового блока) из бетона класса С30/37. Плита перекрытия над 1-м этажом монолитная железобетонная ребристая из бетона класса С25/30. Главные балки вдоль цифровых осей высотой 1000 мм, второстепенные вдоль буквенных осей высотой 600 мм, толщина плитной части 250 мм. На ребра плиты перекрытия опираются несущие стеновые панели 2-го этажа.

Пространственная жесткость и устойчивость каркаса обеспечивается за счет жесткой связи несущих монолитных колонн подвала и 1-го этажа с плитой ростверка и монолитной ребристой плитой покрытия над 1-м этажом; наличия продольных и поперечных несущих стен в подвале из сборных блоков стен подвала и сборных стеновых панелей на 1-м этаже здания, связанных монтажными связями с плитой перекрытия над подвалом и 1-м этажом.

Конструктивная система здания со 2-го этажа – перекрестно-стеновая с продольными и поперечными несущими сборными железобетонными стенами и перекрытиями, опертыми по контуру или по двум и трем сторонам, разработанная с учетом номенклатуры конструкций, конструктивных узлов и изделий типового проекта серии 152М-3.14.

Пространственная жесткость и устойчивость здания обеспечивается совместной работой продольных и поперечных стен и горизонтальных дисков перекрытий.

В качестве вертикальных несущих элементов приняты стены толщиной 160 мм и наружные сборные железобетонные колонны.

Класс бетона наружных и внутренних стен: 2–5-й этажи – С25/30; 6–14-й этажи – С20/25; 15–24-й этажи и чердак – С16/20 и С12/15 (для малонагруженных стеновых панелей). Класс бетона колонн – С25/30 F200 W6.

Шахты лифтов – самонесущие сборные железобетонные панели толщиной 160 мм из бетона С20/25.

Плиты перекрытия и покрытия толщиной 160 мм из бетона С16/20, плиты перекрытия и покрытия, имеющие балконные участки и плиты лоджий, из бетона С25/30 F200W6.

Перегородки – бетонные панели толщиной 80 мм из бетона С12/15.

Парапетные панели и экраны лоджий толщиной 80 мм из бетона С20/25F200W6.

Лестничные марши – сборные железобетонные серии 152М-3.14, 152М.

Вентиляционные блоки серии Б 1.137-7 и серии 289.03ИЖ.

Внутренние и наружные стеновые панели устанавливаются на цементно- песчаный раствор марки М200 толщиной 20 мм. Плиты перекрытия монтируются на слой цементно-песчаного раствора М200 толщиной 10 мм.

Вертикальные швы заполняются раствором М200 с уплотнением, кроме колодцев. Вертикальные колодцевые стыки заполняются бетоном С20/25 с уплотнением.

Узлы стыковки сборных железобетонных элементов выполнены с учетом серии 152М-3.14, с учетом обеспечения требований противодействия прогрессирующему обрушению.

В соответствии с ТКП EN 1992-1-1-2009* конструкции имеют систему связей, предотвращающую прогрессирующее обрушение и обеспечивающую альтернативные пути передачи нагрузки после наступления локального разрушения. Предусмотрены периметрические, внутренние, горизонтальные и вертикальные связи.

Горизонтальные связи предусмотрены для несущих стеновых конструкций, а вертикальные связи – для опорных стен согласно СП 5.03.01-2020 «Бетонные и железобетонные конструкции».

Пространственная жесткость несущего железобетонного каркаса обеспечивается за счет наличия в направлении как буквенных, так и цифровых осей здания вертикальных диафрагм жесткости, образуемых наружными и внутренними несущими стеновыми панелями здания; объединения дисков перекрытий, состоящих из сборных плит сплошного сечения, в единые межэтажные диски путем зачеканки монолитным бетоном и цементно-песчаным раствором зазоров между плитами перекрытий, а также за счет организации связи опорных участков плит перекрытий с опорными участками стеновых панелей приваркой соединительных монтажных элементов к закладным деталям в монолитных стенах и плитах перекрытий.

С учетом того, что этажность проектируемого здания (24 этажа с чердаком) превышает этажность серии 152М-3.14 (16 этажей с чердаком), в конструктивных узлах сопряжения сборных железобетонных элементов каркаса учтены большие сжимающие и горизонтальные усилия. Для заделки стыков стеновых панелей на нижних этажах каркаса здания применяется цементно-песчаный раствор с маркой соответствующей прочности на сжатие бетона сборных стеновых панелей соответствующего этажа.

Неблагоприятные для строительства геологические процессы и явления не выявлены.

Так как возраст намывных песков (ИГЭ-3) более 40 лет и процессы уплотнения и упрочнения стабилизировались, с инженерно-геологических позиций намывные пески рассматривались как естественные грунты.

Забивка свай предусмотрена в лидерные скважины 0,350 мм.

Минимальные пределы огнестойкости строительных конструкций: несущие элементы – R120-КО; междуэтажные плиты перекрытия и покрытия – R120-КО; внутренние несущие стеновые панели – R120-КО; лестничные марши, площадки – R60-КО.

Проектом предусмотрено: утепление наружных сборных железобетонных стен на участках остекленных балконов и лоджий минераловатными плитами толщиной 150 мм, плотностью не менее 150 кг/м^3 по методу легкой штукатурной системы; на открытых участках фасада – минераловатными плитами общей толщиной 200 мм с устройством вентилируемого фасада; плиты балконов (лоджий) отделены от отапливаемой части здания за счет устройства термовкладышей из пенополистирольных плит; утепление перекрытия 24-го этажа плитами экструдированного пенополистирола в конструкции пола теплого чердака; утепление плит покрытия пенополистирольными плитами СТБ 1434-2004 толщиной 240 мм (рисунок 6.7).

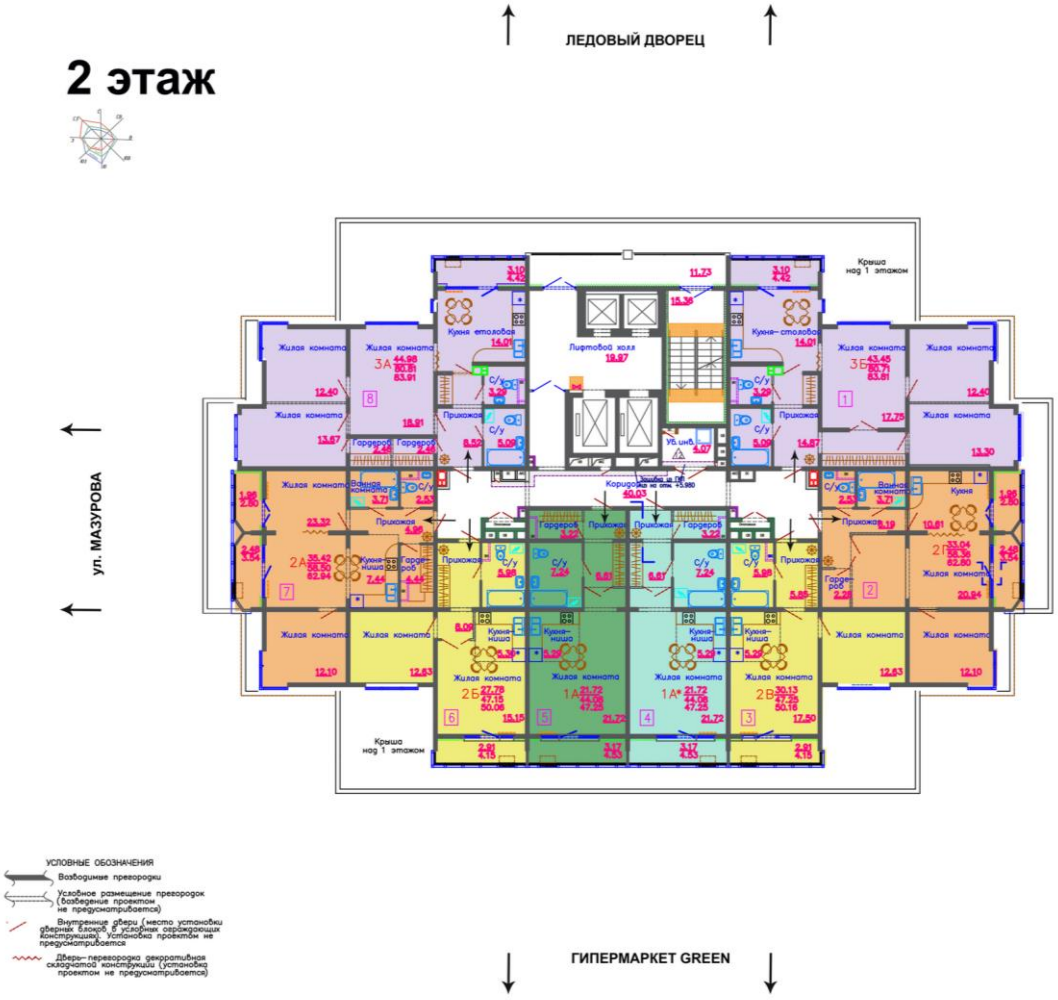

Рисунок 6.7 – Планировка 2-го этажа 24-этажного жилого дома

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проектирование и строительство высотных зданий предполагает создание безопасных, пригодных для жилья пространств в очень высоких зданиях. Здания должны выдерживать их вес, противостоять ветру и землетрясениям, а также защищать жильцов от пожара. Тем не менее, они также должны быть удобно доступны, даже на верхних этажах, и обеспечивать коммунальные услуги и комфортный климат для жильцов. Проблемы, возникающие при проектировании небоскребов, считаются одними из наиболее сложных с учетом необходимого баланса между экономикой, инженерией и управлением строительством.

Одной из общих черт высотных зданий является стальной каркас, к которому подвешены навесные стены, а не несущие стены обычной конструкции. Большинство небоскребов имеют стальной каркас, который позволяет строить их выше, чем обычные несущие стены из железобетона. Небоскребы обычно имеют особенно малую площадь поверхности того, что принято считать стенами. Поскольку стены не являются несущими, большинство небоскребов характеризуются большими площадями окон, что стало возможным благодаря концепции стальной рамы и навесной стены. Однако небоскребы также могут иметь навесные стены, имитирующие обычные стены, и иметь небольшую площадь окон.

Концепция высотных зданий является продуктом индустриальной эпохи, ставшей возможной благодаря дешевой энергии, получаемой из ископаемого топлива, и промышленно переработанному сырью, такому как сталь и бетон. Строительство небоскребов стало возможным благодаря строительству из стального каркаса, которое превзошло строительство из кирпича и строительного раствора, начавшееся в конце XIX века и, наконец, превысившее его в XX веке вместе со строительством из железобетона, поскольку цена на сталь снизилась, а затраты на рабочую силу возросли.

Стальные каркасы становятся неэффективными и неэкономичными для сверхвысоких зданий, поскольку полезная площадь пола уменьшается из-за все более крупных опорных колонн. Примерно с 1960 года для строительства высотных зданий используются трубчатые конструкции. Это сокращает использование материалов (более эффективно с экономической точки зрения – в Уиллис Тауэр применяется на треть меньше стали, чем в Эмпайр Стейт Билдинг), но при этом обеспечивает большую высоту. Он допускает меньшее количество внутренних колонн и, таким образом, создает больше полезной площади. Кроме того, он позволяет зданиям принимать различные формы.

В 1852 году Элиша Отис представил лифт безопасности, позволяющий пассажирам удобно и безопасно подниматься на верхние этажи. Еще одним важным нововведением стало использование стального каркаса вместо камня или кирпича, в противном случае стены на нижних этажах высокого здания были бы слишком толстыми, чтобы быть практичными. Сегодня основными производителями лифтов являются Otis, ThyssenKrupp, Schindler и KONE.

Достижения в технологии строительства создали условия для уменьшения размеров высотных зданий в плане и их увеличения в высоту. Некоторые из этих новых технологий включают в себя амортизаторы массы для уменьшения вибраций и раскачивания, а также зазоры, позволяющие проходить воздуху, уменьшая сдвиг ветра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Абрамсон, Л. А.** Развитие строительства высотных зданий / Л. А. Абрамсон // Жилищное строительство. – 2005. – № 10. – С. 14–29.

2 **Битус, А.** Самые высокие здания планеты /А. Битус // Архитектура и строительство. – 2006. – № 3. – С. 104–107.

3 **Галкин, С.** Конструктивные решения высотных зданий / С. Галкин // Архитектура и строительство. – 2007. – № 1. – С. 48–53.

4 **Марковский, М.** Высотное домостроение. Без права на ошибку / М. Марковский // Архитектура и строительство. – 2007. – № 1. – С. 44–47.

5 **Малков, И. Г.** Архитектура и конструктивные решения высотных зданий / И. Г. Малков, И. И. Малков. – Гомель : БелГУТ, 2007. – 23 с.

6 **Потерщук, В.** Высотное строительство – поиски новых конструктивных решений / В. Потерщук, Т. Пецольд // Архитектура и строительство. – 2007. – № 1. – С. 56–58.

7 **Иодо, И. А.** Теория архитектуры / И. А. Иодо, Ю. А. Протасова. – Минск : БНТУ, 2009. – 94 с.

8 **Чижов, И.** Небоскребы и люди. Строительно-экономические предпосылки архитектурной организации высотных жилых зданий / И. Чижов // Архитектура и строительство. – 2007. – № 1. – С. 36–42.

9 **Маклакова, Т. Г.** Высотные здания. Градостроительные и архитектурно-конструктивные проблемы проектирования : [монография] / Т. Г. Маклакова. – М. : АСВ, 2006. – 160 с.

10 **Козак, Ю.** Конструкции высотных зданий : пер. с чеш. / Ю. Козак. – М. : Стройиздат, 1986. – 181 с.

11 Гомельский домостроительный комбинат : [сайт]. – Гомель, 2025. – URL: https://promo.gdsk.by/zhiloj-dom-poziciya-17-po-genplanu-v-mikrorajone-18-v-g-gomele/?ysclid=lq57wjj49e616777689 (дата обращения: 10.01.2024).

12 Топы Минска: какие здания столицы можно считать небоскребами // Минск-Новости. – URL: https://minsknews.by/topy-minska-kakie-zdaniya-stoliczy-mozhno-schitat-neboskrebami/?ysclid=lq581ebaj3891175840 (дата обращения: 10.01.2024).

13 10 самых высоких зданий в мире // Nur.kz. – URL: https://www.nur.kz/leisure/interesting-facts/1899737-10-samyx-vysokix-zdanii-v-mire/?ysclid=lq6hxw6xac679935093 (дата обращения: 10.01.2024).

.

Учебное издание

ЕВСТРАТЕНКО Анжелика Владимировна
МАЛКОВ Игорь Георгиевич

ВЫСОТНЫЕ ЗДАНИЯ

Учебно-методическое пособие

Редактор Д. В. М а р ц и н к е в и ч
Технический редактор В. Н. К у ч е р о в а

Подписано в печать 19.03.2025 г. Формат 60×84 $^{1}/_{8}$.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 5,58. Уч-изд. л. 4,23. Тираж 50 экз.
Зак № 598. Изд. № 16.

Издатель и полиграфическое исполнение
Белорусский государственный университет транспорта:
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/361 от 13.06.2014.
№ 2/104 от 01.04.2014.
№ 3/1583 от 14.11.2017.
Ул. Кирова, 34, 246653, г. Гомель