Лучшие зарубежные профессиональные практики

Общие положения

Нормативные документы, устанавливающие понятия о высотных и уникальных зданиях, а также регламентирующие особенности их проектирования:

1. Градостроительный кодекс РФ;
2. ГОСТ 27751-2014. Надёжность строительных конструкций и оснований. Основные положения;
3. СП 267.1325800.2016. Здания и комплексы высотные. Правила проектирования.

Пункт 3.5 СП 267.1325800.2016: к *высотным* относятся здания, имеющие высоту более 75 м. Здесь высота здания определяется высотой расположения верхнего этажа, не считая верхнего технического этажа. Она вычисляется как разность отметок поверхности проезда для пожарных машин и нижней границы открывающегося проема (окна) в наружной стене. При наличии эксплуатируемого покрытия высота здания определяется по максимальному значению разницы отметок поверхности проездов для пожарных машин и верхней границы ограждений покрытия

Статья 48-1 Градостроительного кодекса РФ: к *уникальным объектам* относятся объекты капитального строительства, в проектной документации которых предусмотрена хотя бы одна из следующих характеристик:

1) высота более чем 100 метров;

2) пролеты более чем 100 метров;

3) наличие консоли более чем 20 метров;

4) заглубление подземной части (полностью или частично) ниже планировочной отметки земли более чем на 15 метров.

Учёт ответственности сооружений выполняется в соответствии с требованиями раздела 10 ГОСТ 27751-2014. Коэффициент надёжности по ответственности γ_n назначается в зависимости от класса сооружения:

Класс сооруже-ния	Уровень ответственности	Коэффициент надёжности γ_n (минимальное значение)	Примечания
КС-3	Повышенный	1,1	См. ниже
		1,2	Для зданий высотой более 200 м (п.7.8.2 СП 267.1325800.2016) и большепролётных сооружений с пролётом более 120 м
КС-2	Нормальный	1,0	Всё, не вошедшее в КС-3 и КС-1
КС-1	Пониженный	0,8	теплицы, парники, мобильные здания, сооружения с ограниченными сроками службы, в которых не предусматривается постоянное пребывание людей

К классу КС-3 относятся:

- здания особо опасных и технически сложных объектов (в соответствии со статьей 48-1 Градостроительного кодекса: сооружения атомной энергетики; ЛЭП и другие объекты электросетевого хозяйства напряжением 330 кВ и более; объекты космической, авиационной, железнодорожной инфраструктуры; метрополитены; морские порты; опасные производственные объекты и др.);

- уникальные здания;

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

- объекты жизнеобеспечения городов и населенных пунктов;

- тоннели, трубопроводы на дорогах высшей категории или имеющие протяженность более 500 м;

- пролетные строения мостов с пролетом более 200 метров.

Расчет конструкций и оснований сооружений повышенного уровня ответственности (класса КС-3) рекомендуется проводить на основе результатов специальных теоретических, апробированных численных и экспериментальных исследований, проводимых на моделях или натурных конструкциях (п. 5.2.4 ГОСТ).

Для зданий и сооружений класса КС-3 должно предусматриваться научно-техническое сопровождение при проектировании, изготовлении и монтаже конструкций, а также их технический мониторинг при возведении и эксплуатации (п. 10.5 ГОСТ).

Расчет на прогрессирующее обрушение проводится для зданий и сооружений класса КС-3, а также зданий и сооружений класса КС-2 с массовым нахождением людей (здания высотой 5 этажей и более, музеи, госархивы, зрелищные объекты на 500 человек и более, детские сады, школы, другие учебные заведения на 100 человек и более и т.д.) Расчет на прогрессирующее обрушение допускается не проводить, если предусмотрены специальные мероприятия, исключающие прогрессирующее обрушение сооружения или его части (п.5.2.6 ГОСТ).

Требования к контролю качества проектирования установлены в разделе 12 ГОСТ 27751-2014:

Класс сооружений	Уровень ответственности	Контроль качества проектирования
КС-3	Повышенный	Независимый контроль, осуществляемый организацией отличной от той, которая разрабатывала проект
КС-2	Нормальный	Контроль внутри организации, которая разрабатывала проект, лицами, которые не участвовали в разработке проекта
КС-1	Пониженный	Самопроверка: проверка проводится лицами, которые разрабатывали проект

Нагрузки и воздействия

Учет нагрузок и воздействий выполняется согласно положениям СП 20.13330, за исключением приведённых ниже дополнений.

При проектировании и расчете необходимо учитывать особые воздействия, возникающие при локальных разрушениях несущих конструкций в результате природных и антропогенных ЧС. К особым воздействиям относятся: образование карстовых воронок, провалов в основаниях зданий; взрывы снаружи или внутри сооружения; пожары, аварии и разрушение несущих конструкций вследствие дефектов в материалах, некачественного производства работ.

При расчете зданий на особое сочетание нагрузок необходимо учитывать постоянные, длительные и одно из перечисленных особых воздействий. При этом коэффициент надёжности по ответственности принимается равным γ_n=1,0.

Нормативные значения временных нагрузок на перекрытия принимаются по СП 20.13330 за следующими исключениями:

Помещения	Нормативные значения нагрузок, кН/м^2 (кгс/м^2)
1. Технические этажи	10,0 (1000)
2. Вестибюли, фойе, коридоры первого этажа	4,0 (400)
3. Лестницы и входы	5,0 (500)
4. Карнизы	1,4 (140)

Нормативные значения нагрузок в жилых помещениях от веса временных перегородок допускается учитывать, как равномерно распределенные по площади нагрузки интенсивностью не менее 1,0 кПа (100 кгс/м²).

На покрытии стилобатных и подземных частей зданий необходимо учитывать нагрузку от автотранспорта и пожарных автомобилей. Нормативная нагрузка от техники массой более 16т, в т.ч. пожарных автомобилей, при отсутствии паспортных данных принимается не менее

30 кПа (3 т/м^2). Масса наиболее тяжёлых машин (автоподъёмников) принимается 46 т (не менее 16 т на ось). При расчёте их следует располагать в наиболее неблагоприятных местах покрытия. Размеры площадки для передачи нагрузки от колес пожарного автомобиля принимаются 0,2х0,6 м.

Давление на покрытие от выносных опор пожарного автомобиля следует учитывать в отдельном расчетном сочетании нагрузок и принимать из расчета наибольшей нагрузки на опору при перемещении гидроподъемника, составляющей 1,75 средней нагрузки на опору. Размеры основания выносной опоры или специальной подкладки – 0,5×0,5 м.

Если заданием на проектирование предусмотрена площадка для посадки вертолёта или аварийно-спасательной кабины пожарного вертолёта, то данные нагрузки надо учитывать в соответствии с п. 7.2.7 СП 267.1325800.2016. Вес вертолёта принимается с коэффициентом динамичности ξ=1,4, учитывающим влияние удара.

Гололёдные нагрузки учитываются при проектировании шпилей, решетчатых элементов конструкций, а также фасадных теплоизоляционных систем с воздушным зазором, элементов их крепления и т. п., расположенных на высоте 100 м и более. Коэффициент надёжности для гололёдных нагрузок принимается γ_f=2,0.

Учет сейсмических воздействий выполняется согласно положениям СП 14.13330, с учётом приведённых ниже дополнений. В качестве расчётных моделей допускается применять только пространственные расчётные схемы. Расчет должен выполняться методом конечных элементов в сертифицированных и верифицированных программных комплексах.

При расчете высотных зданий на сейсмические воздействия следует применять три типа расчётных моделей:

1) упругая (без учёта нелинейности) модель деформирования несущих конструкций. Нагрузки определяются в частотной области;

2) неупругая модель при значении коэффициента надежности сейсмической нагрузки, вводимом к интенсивности воздействия, равном 1,5. Нагрузки определяются во временной области с использованием инструментальных записей ускорений основания при землетрясениях, наиболее опасных для данного здания или сооружения, а также с применением синтезированных акселерограмм;

3) модель высотных зданий с поврежденными несущими конструкциями при значении коэффициента надежности сейсмической нагрузки 1,5. Степень и локализацию повреждений несущих конструкций высотных зданий оценивают расчетами по модели 2). Нагрузки определяются в частотной области. Целями расчетов являются сохранение упругого несущего ядра конструкции и недопущение прогрессирующего обрушения высотного здания.

Вертикальное направление сейсмического воздействия обязательно учитывается при расчете:

- горизонтальных и наклонных консольных конструкций;
- рам, арок, ферм, пространственных покрытий зданий пролетом 24 м и более.

Для объектов повышенного уровня ответственности, строящихся в районах с сейсмичностью 6 баллов на площадках строительства с грунтами категории III по сейсмическим свойствам, расчетную сейсмичность следует принимать равной 7 баллам.

Конструктивные системы

Конструктивная система представляет собой взаимосвязанную совокупность вертикальных и горизонтальных несущих конструкций здания, которые совместно обеспечивают его прочность, жесткость и устойчивость. Горизонтальные конструкции - перекрытия и покрытия здания - воспринимают приходящиеся на них вертикальные и горизонтальные нагрузки и воздействия, передавая их поэтажно на вертикальные несущие конструкции. Последние, в свою очередь, передают эти нагрузки и воздействия через фундаменты на основание.

Горизонтальные несущие конструкции высотных зданий обычно представляют собой жесткий несгораемый диск – железобетонный (монолитный, сборно-монолитный, сборный) либо сталежелезобетонный

Вертикальные несущие конструкции более разнообразны. Различают:

1. стержневые (каркасные) несущие конструкции;
2. плоскостные (стеновые, диафрагмовые);
3. внутренние объемно-пространственные стержни полого сечения на высоту здания (стволы жесткости);
4. объемно-пространственные наружные конструкции на высоту здания в виде тонкостенной оболочки замкнутого сечения.

В соответствии с применяемым видом вертикальных несущих конструкций различают *четыре основные конструктивные системы* высотных зданий - каркасную (рамную), стеновую (бескаркасную, диафрагмовую), ствольную и оболочковую.

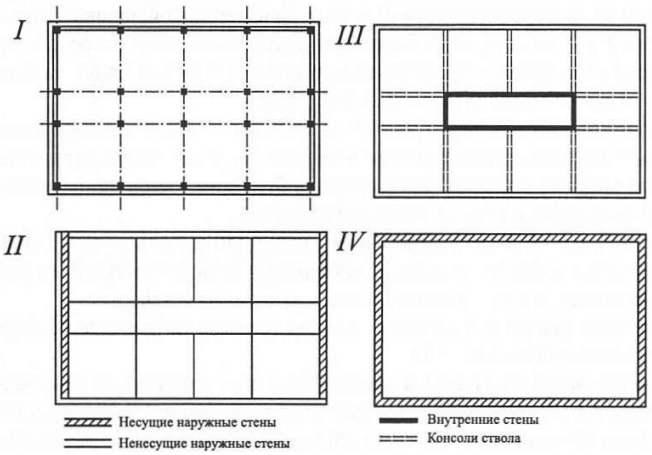


Рис. 5.21. Основные конструктивные системы зданий: *I* – каркасная; *II* – бескаркасная (стеновая); *III* – ствольная; *IV* – оболочковая

Основные системы ориентированы на восприятие всех силовых воздействий одним типом несущих элементов. Так, например, при стержневых конструкциях узлы сопряжения колонн с ригелями должны быть жесткими (рамными) в обоих направлениях, чтобы обеспечить восприятие вертикальных и горизонтальных воздействий.

Наряду с основными, широко применяют и *комбинированные конструктивные системы*. В этих системах вертикальные несущие конструкции компонуют, сочетая разные виды элементов. К их числу относятся системы: каркасно-диафрагмовая со связями в виде стен - диафрагм жесткости, с неполным каркасом (несущие наружные стены и внутренний каркас), каркасно-ствольная, ствольно-стеновая, ствольно-оболочковая и др.

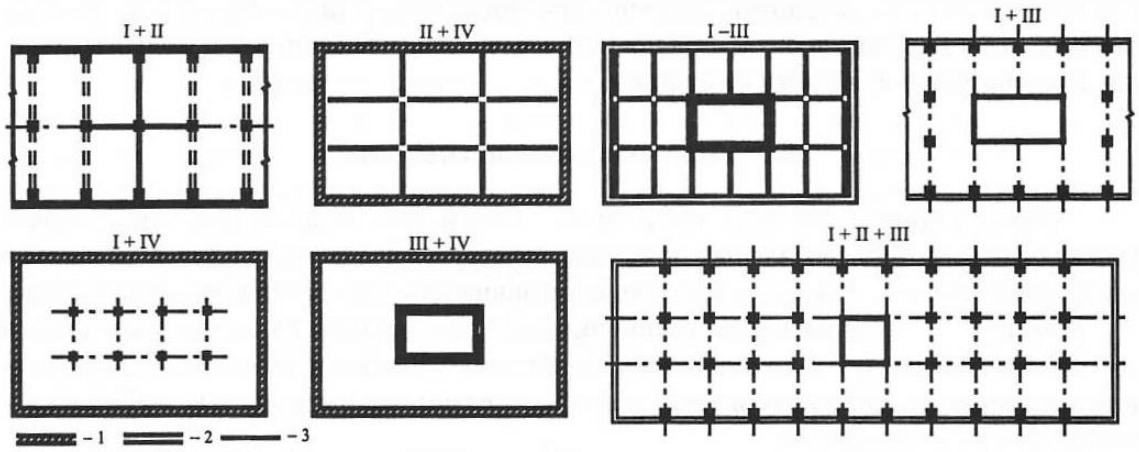
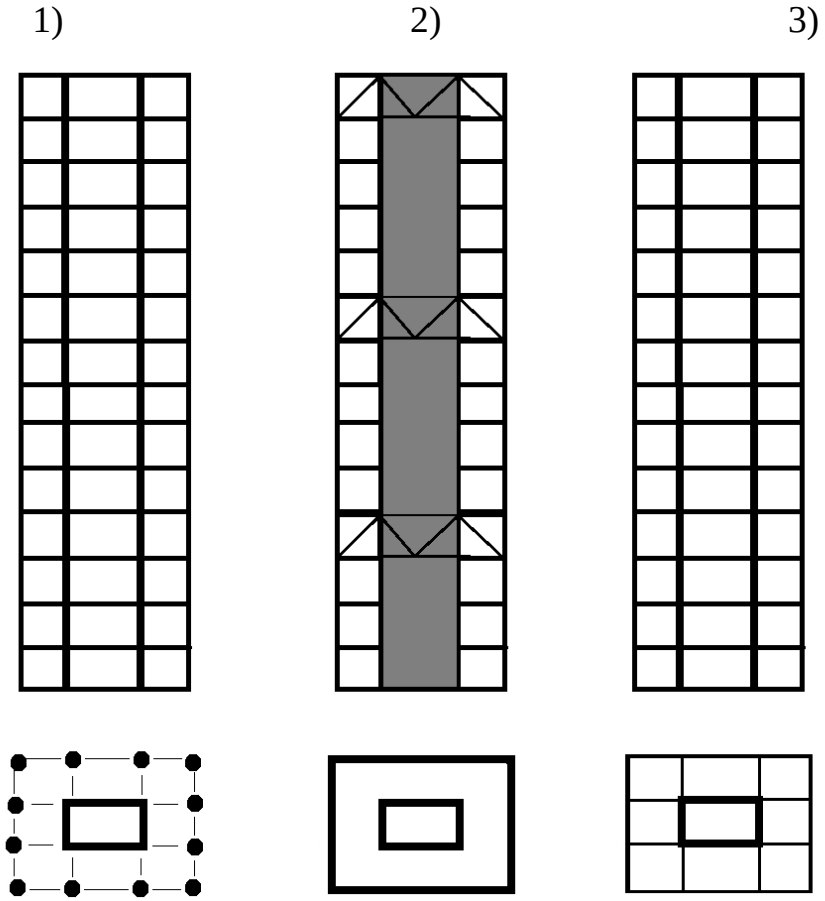


Рис. 5.22. Комбинированные конструктивные системы: 1 – наружные несущие стены4 2 – то же, несущие; 3 – несущие внутренние стены

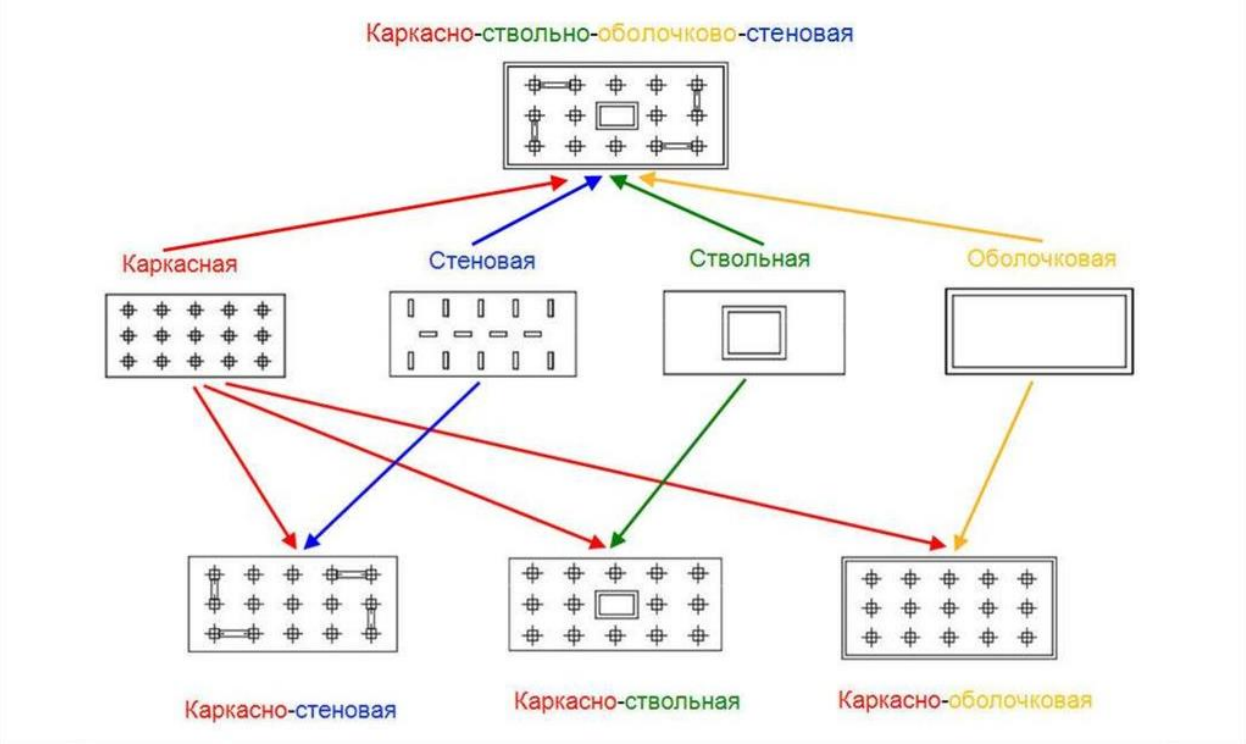
В комбинированной системе могут сочетаться несколько типов вертикальных несущих элементов (плоскостных, стержневых, объемно-пространственных) и схем их работы. При таких сочетаниях полностью или частично дифференцируется восприятие нагрузок и воздействий (например, горизонтальных - стенами жесткости, а вертикальных - каркасом). Соответственно количество возможных вариантов комбинированных систем весьма обширно.

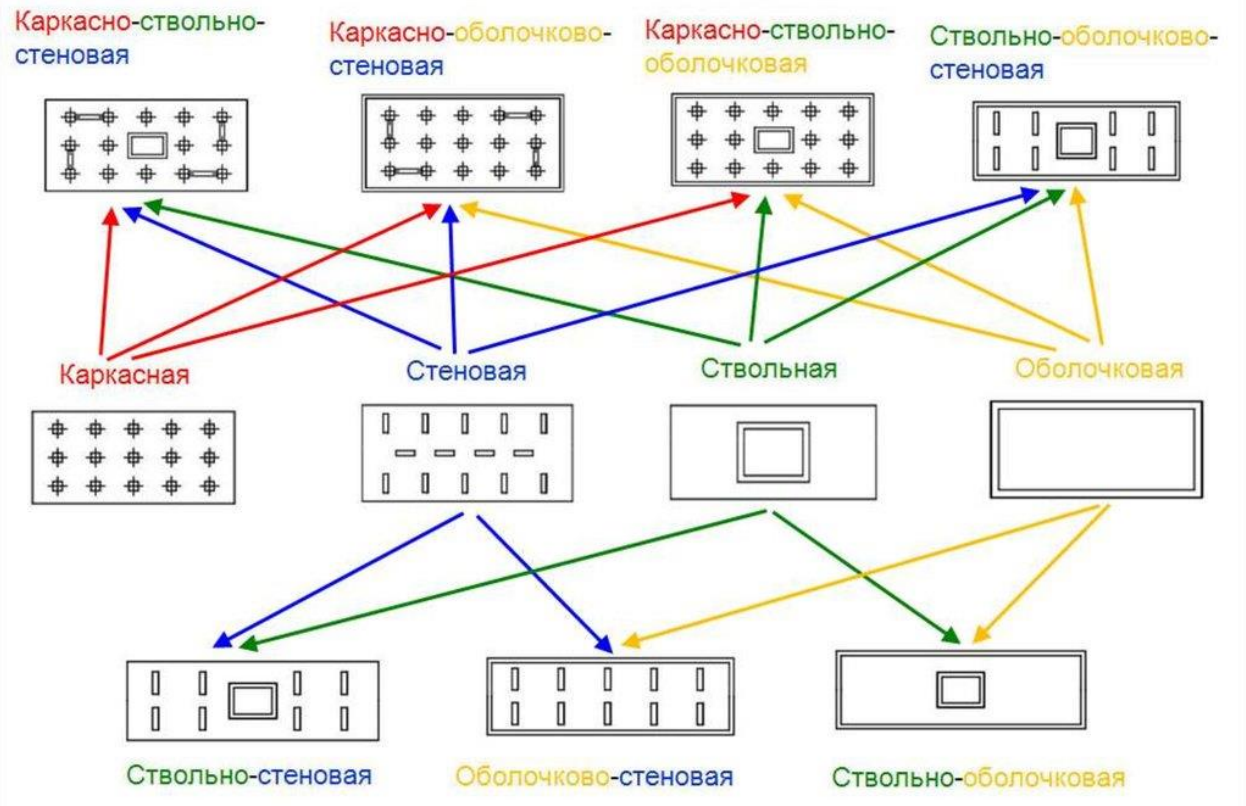
В наиболее высоких зданиях мира преимущественно используются следующие конструктивные системы:

1. Каркасно-ствольная;
2. Ствольно-оболочковая;
3. Ствольно-стеновая.



Стеновая система на протяжении столетий была основной для зданий любого назначения, однако, в высотном строительстве она применяется редко и преимущественно для жилых зданий и гостиниц. Самое высокое из построенных зданий стеновой системы - 47-этажный жилой дом «Конкордия Хаус» в Кёльне имеет поперечно-стеновую конструктивную систему (шаг стен 4,5 м) и выполнено с монолитными железобетонными несущими внутренними стенами и перекрытиями. Малый объем использования стеновой системы и ориентация на применение ее только в жилище можно объяснить ограничениями свободы планировки.





Конструктивные особенности

Фундаменты

В качестве фундаментов высотных зданий применяют плитные, свайные и комбинированные свайно-плитные фундаменты. Особые требования к инженерно-геологическим изысканиям приведены в п. 8.1.1 и 8.1.2.

Расчет основания должен выполняться численным методом в соответствии с нормативными требованиями в объемной постановке с учетом совместной работы системы «основание – фундамент – здание» с учетом этапности строительства и нелинейной работы каркаса. Для зданий высотой более 100 м необходимо выполнять параллельный расчет основания независимой организацией с применением программных комплексов, реализующих МКЭ и разработанных независимо от программных комплексов, используемых для основного расчета.

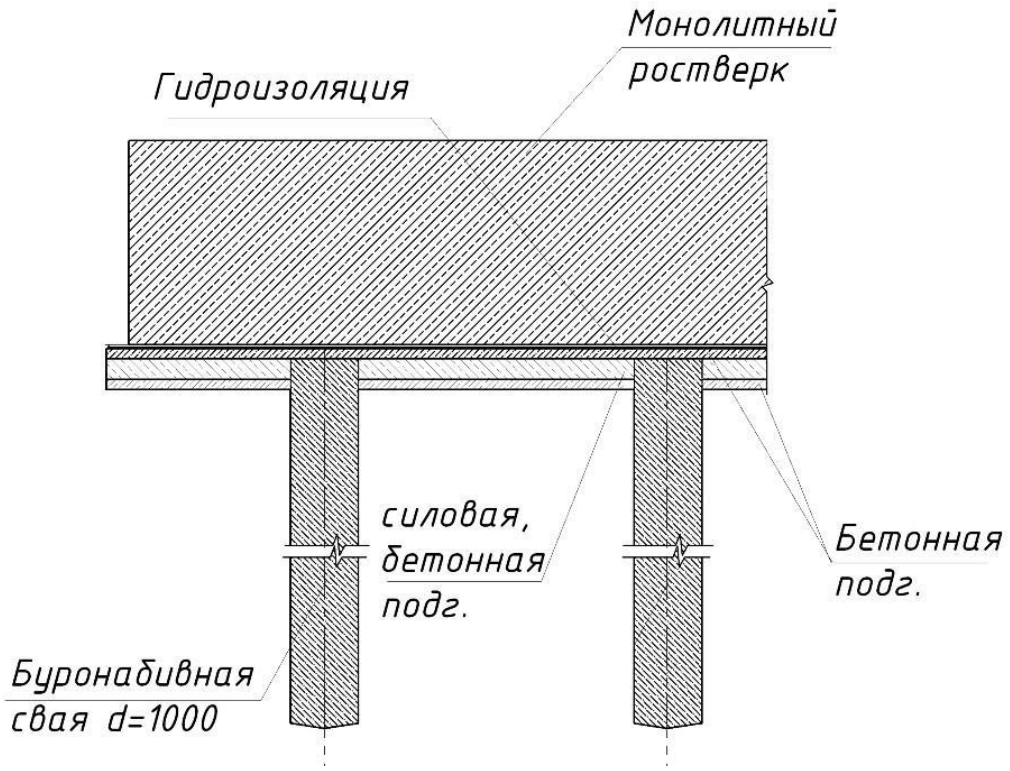
Для снижения неравномерных осадок и крена здания необходимо:

- элементы жесткости размещать симметрично центру тяжести здания.
- высотное здание размещать в центре котлована;
- при одновременном возведении различных частей многофункционального комплекса предусматривать специальные мероприятия, снижающие неравномерные осадки.

При использовании свай их количество, длину и расстановку в свайном поле необходимо определять путём расчета пространственной модели с учётом взаимодействия свай не только с грунтом, но и между собой.

Для свай следует применять бетоны класса прочности на сжатие не менее B35, водонепроницаемостью не менее W8, для фундаментных плит – тяжелые бетоны класса прочности на сжатие не менее B40 и водонепроницаемостью не менее W8.

Для исключения передачи изгибающего момента на сваи и повышения качества устройства гидроизоляции можно применять двуслойный ростверк:



Вертикальные несущие конструкции

Конструктивные системы высотных зданий выполняют с применением:

- монолитного или сборно-монолитного железобетона;
- стального каркаса;
- стального каркаса в сочетании с монолитным железобетоном;
- сталежелезобетонного каркаса.

Применение сборного железобетона допускается только для устройства плит перекрытий, лестничных маршей и площадок при технико-экономическом обосновании.

Необходимо стремиться к повышению пространственной жесткости конструктивных систем высотных зданий путём применения:

- развитых в плане и симметрично расположенных диафрагм и ядер жесткости;
- коробчатых (оболочковых) конструктивных систем с несущими наружными стенами по всему контуру здания или часто установленными стальными колоннами;

- конструктивных систем с регулярным расположением несущих конструкций в плане и по высоте здания;

- жестких дисков перекрытий, объединяющих вертикальные несущие конструкции и выполняющих функции горизонтальных диафрагм жесткости при действии ветровых или сейсмических нагрузок;

- жестких узловых сопряжений между несущими конструкциями;

- аутригерных конструкций, которые, как правило, располагают в уровне технических этажей.

Для районов сейсмичностью не выше 6 баллов наиболее эффективно проектирование аутригерных конструкций в уровне верхних и (в зависимости от высоты здания) средних технических этажей. Для районов строительства сейсмичностью 7, 8 и 9 баллов необходимость использования аутригеров и уровни их расположения определяются расчетом.

При наличии у высотного здания развитой в плане и малоэтажной стилобатной части, а также разновысоких зданий в высотном комплексе следует предусматривать деформационные осадочные швы, отделяющие их друг от друга.

В вертикальных несущих железобетонных конструкциях – колоннах, пилонах, стенах и ядрах жесткости – следует применять тяжелые бетоны классов по прочности на сжатие не менее:

В35 – для зданий высотой от 75 до 150 м (включительно);

В45 – для зданий высотой от 150 до 200 м (включительно);

В60 – для зданий высотой от 200 до 250 м (включительно);

В80 – для зданий высотой более 250 м.

Допускается применять различные классы бетона по высоте здания.

В перекрытиях следует применять легкие и тяжелые бетоны классов по прочности на сжатие не менее В30.

Для железобетонных конструкций без предварительного напряжения арматуры в качестве продольной расчетной арматуры следует преимущественно применять стальную арматуру классов А400, А500 и А600;

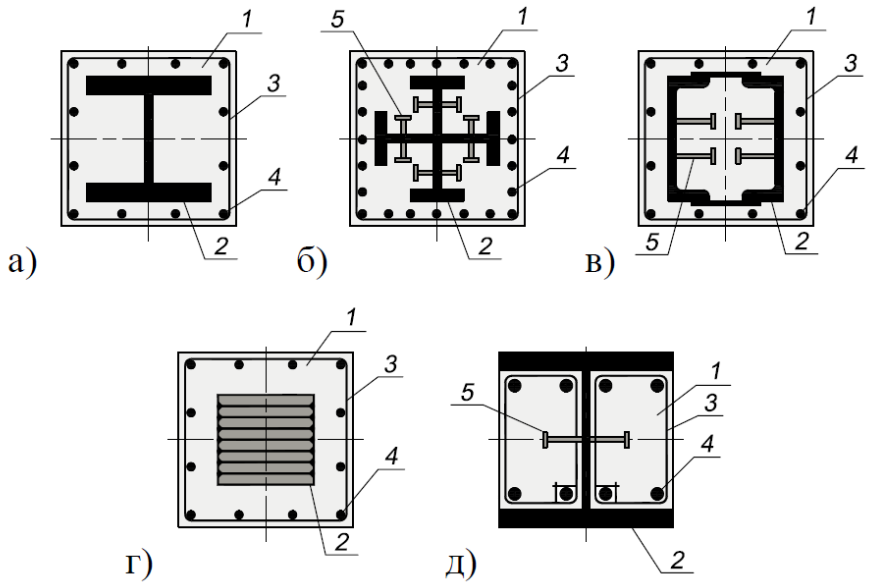
для поперечного и косвенного армирования – А240, А400 и А500. Для всех конструкций толщину защитного слоя бетона рабочей арматуры следует принимать не менее диаметра арматуры, но не менее 25 мм.

Размеры сечений колонн, толщину стен диафрагм и ядер жесткости допускается принимать переменными по высоте здания. Гибкость железобетонных колонн и стен из плоскости ($\lambda=l_0/i$) следует принимать не более 60. Для стальных конструкций гибкость не должна превышать 80.

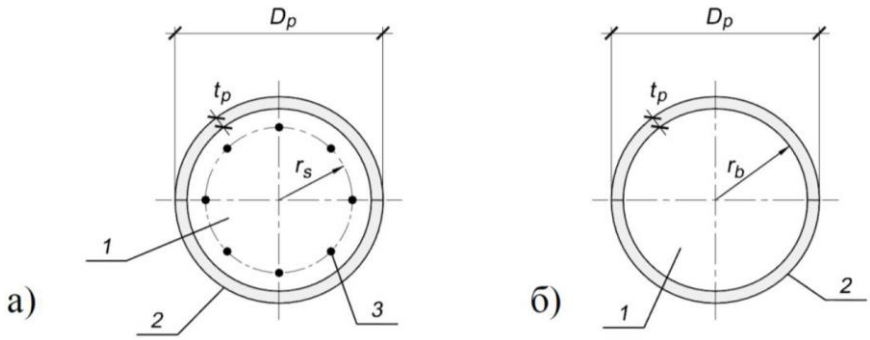
Сечение железобетонных колонн должно быть не менее 400х400 мм. Рекомендовано симметричное армирование. Допускается расположение продольной арматуры в несколько рядов. Минимальный диаметр продольной арматуры колонн – 20 мм. Наибольший суммарный процент армирования колонн не должен превышать 6 %.

Для пилонов, стен и ядер жесткости рекомендуется использовать симметричную вертикальную и горизонтальную арматуру, расположенную у боковых граней стен. Минимальная толщина пилонов – 250 мм, стен – 200 мм. Минимальный диаметр арматуры 12 мм.

Для повышения несущей способности колонн допускается их армирование жёсткой арматурой. Толщина защитного слоя для жесткой арматуры должна быть не менее 50 мм. В таком случае процент армирования ограничивается максимальным значением 15 %.



Кроме того, возможно использование трубобетонных колонн. В таких колоннах стальная оболочка из круглой стальной трубы, заполненной бетоном высокой прочности, создает обжатие бетонного ядра, служа одновременно вертикальной и горизонтальной арматурой колонн. За счет вертикального и горизонтального обжатия бетонного ядра, несущая способность колонны увеличивается до двух раз (по сравнению с железобетонной из бетона того же класса) с соответствующим уменьшением размеров поперечного сечения.



Стволы жесткости представляют собой наиболее специфичную для высотного строительства внутреннюю вертикальную несущую конструкцию. Она присуща большинству высотных зданий различных конструктивных систем: ствольных, каркасно-ствольных, ствольно-стеновых и оболочково-ствольных.

Самый распространенный вариант конструкции - центрально расположенный монолитный железобетонный ствол. В зависимости от нагрузки (этажности) толщина стен ствола в нижнем ярусе может достигать 60-80 см, а в верхних сокращаться до 20—30 см. Минимальный класс бетона для вертикальных несущих конструкций В 30, но в нижних этажах высотных зданий приемлемо применение высокопрочных бетонов классов В50 и В60.

В конструктивно-планировочном отношении удачна относительно редко принимаемая конструкция ствола открытого профиля, например крестообразного сечения. Она исключает трудоемкое и металлоемкое устройство многочисленных надпроемных перемычек, необходимых в стволах закрытого сечения, и упрощает установку лифтов. Ограничение в их

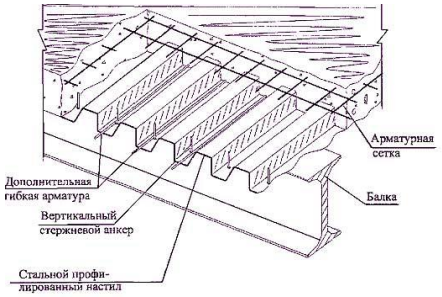
применении оправдано только в особо высоких сооружениях, когда жесткость ствола открытого сечения может оказаться недостаточной.

Перекрытия

Конструктивные решения перекрытий подчинены требованиям пожарной безопасности, обеспечения их прочности и минимальной деформативности. Основные варианты железобетонных перекрытий – монолитная плоская или ребристая плита, монолитная с оставляемой сборной железобетонной опалубкой, сборная из многопустотных, сплошных или ребристых настилов.

В зарубежной практике основным вариантом перекрытия является сталежелезобетонная конструкция из стальных балок и монолитной железобетонной плиты по несущему профилированному стальному настилу, который служит одновременно несъемной опалубкой и отчасти армированием плиты. Этот вариант конструкции перекрытия, как правило, проектируют с подвесным потолком, который скрывает в интерьере стальные балки и создает пространство для разводки многочисленных коммуникаций - электрических, вентиляционных и др. А сам потолок может способствовать улучшению акустического режима помещении при выполнении его из звукопоглощающих материалов.

Однако в отечественных условиях складывается неблагоприятная обстановка для расширенного внедрения сталежелезобетонной конструкции перекрытий в связи с предусмотренным МГСН 4.19-2005 требованием увеличения предела огнестойкости перекрытий в зданиях выше 100 м до REI 240. Это потребует омоноличивания стальных балок.



Особенности расчёта

Расчет несущей конструктивной системы следует проводить в пространственной постановке с учетом совместной работы надземных и подземных конструкций, фундамента и основания под ним.

Для зданий высотой более 100 м необходимо выполнять параллельный расчет каркаса независимой организацией с применением программных комплексов, реализующих МКЭ и разработанных независимо от программных комплексов, используемых для основного расчета. По результатам параллельного расчета, составляется отчёт, а также выполняется сопоставление с результатами основного расчета по следующим параметрам:

- давление под подошвой фундамента;
- разница осадок и крены фундаментных конструкций;
- усилия и/или напряжения в основных несущих элементах (фундаментных конструкциях, сваях, колоннах, элементах ферм, стенах, перекрытиях);
- деформации здания от основного сочетания нагрузок (в т. ч. с учетом действия ветра), горизонтальное смещение верха здания;
- укорочение наиболее нагруженных колонн;
- деформации и прогибы наиболее ответственных конструкций (перекрытия пролетом более 20 м, консоли вылетом более 6 м);
- формы и частоты собственных колебаний здания;
- ускорение верхнего эксплуатируемого этажа.

Расчет конструктивных систем высотных зданий выполняют с учетом линейных (упругих) и нелинейных (неупругих) жесткостей стальных железобетонных элементов. Линейные жесткости элементов определяют как для сплошного упругого тела. Нелинейные жесткости определяют по поперечному сечению с учетом фактически установленного армирования, возможного образования трещин и развития неупругих деформаций в бетоне

и арматуре, отвечающих кратковременному и длительному действиям нагрузки.

Допускается горизонтальные перемещения верха высотных зданий из монолитного железобетона определять при пониженных упругих жесткостях железобетонных элементов. В первом приближении значения модуля упругости материала Eb допускается принимать с понижающими коэффициентами: 0,6 – для вертикальных сжатых элементов; 0,2 – для плит перекрытий (покрытий) при наличии трещин; 0,3 – то же, при отсутствии трещин.

Кроме расчёта по прочности и деформациям необходимо выполнять расчёты на устойчивость формы и положения. Для зданий из монолитного железобетона коэффициент запаса по устойчивости формы, представляющий собой отношение расчетного значения нагрузки, при которой возникает возможность потери общей устойчивости здания, к значению эксплуатационной нагрузки, должен быть не менее 2. Для высотных зданий со стальным каркасом коэффициент запаса по устойчивости формы должен быть не менее 1,3.

При расчете устойчивости формы необходимо учитывать нелинейную работу материалов. Допускается выполнять расчет устойчивости формы высотных зданий при пониженных упругих жесткостях элементов (см. выше).

При расчете устойчивости положения здания (расчёт на опрокидывание) следует рассматривать его конструктивную систему как жесткое недеформируемое тело. При расчете на опрокидывание удерживающий момент от вертикальной нагрузки должен превышать опрокидывающий момент от горизонтальной нагрузки с коэффициентом запаса 1,5.

Прогрессирующее обрушение

При проектировании высотных зданий необходимо учитывать вероятность локальных разрушений несущих конструкций, которые не должны привести к прогрессирующему (цепному) обрушению здания.

В случае аварийных воздействий допускаются локальные разрушения отдельных вертикальных несущих элементов в пределах одного этажа или участка перекрытия одного этажа, не приводящие к обрушению всего здания. Расчет здания в случае локального разрушения конструкций проводят только по предельным состояниям первой группы. Развитие неупругих деформаций, перемещения конструкций и раскрытие в них трещин в рассматриваемой ЧС не ограничивают.

Устойчивость высотного здания против прогрессирующего обрушения следует обеспечивать наиболее экономичными средствами:

- рациональным конструктивно-планировочным решением здания с учетом возможности возникновения рассматриваемой аварийной ситуации;
- конструктивными мерами, обеспечивающими неразрезность конструкций;
- применением материалов и конструктивных решений, обеспечивающих развитие в элементах конструкций и их соединениях пластических деформаций.

В качестве локального гипотетического разрушения следует рассматривать разрушение (удаление) несущих конструкций одного (любого) этажа здания на участке, ограниченном кругом диаметром 10 м для зданий высотой до 200 м и диаметром 11,5 м для зданий выше 200 м. Схемы локальных разрушений могут быть следующими:

1) пересекающиеся стены на участках от места их пересечения (например, от угла здания) до ближайшего проема в каждой стене или до следующего вертикального стыка со стеной другого направления. Или на участке указанного размера при размещении центра круга в месте пересечения стен;

2) разрушение отдельно стоящей стены на участке указанного размера при размещении центра круга на краю стены;

3) разрушение отдельно стоящей стены на участке указанного размера при размещении центра круга в центре тяжести сечения стены;

4) колонн (пилонов), в том числе с примыкающими к ним участками стен, расположенных на участке указанного размера [при размещении центра круга в центре тяжести сечения одной из колонн (пилона)].

Расчет по прочности и устойчивости проводят на особое сочетание нагрузок и воздействий, включающее в себя постоянные и временные длительные нагрузки, которые принимаются с коэффициентами надежности γ_f=1,0. Прочностные и деформационные характеристики материалов принимаются равными их нормативным значениям.

Для расчета на прогрессирующее обрушение необходимо использовать пространственную расчетную модель, в которой дополнительно могут учитываться элементы, не являющиеся несущими при нормальных условиях эксплуатации (например, навесные наружные стеновые панели, железобетонные ограждения балконов и т. п.) Расчет здания следует выполнять с использованием программных комплексов, реализующих МКЭ, допускающих возможность учета физической и геометрической нелинейности жесткостных характеристик элементов.

В общем случае необходимо выполнить проверку прочности и устойчивости вертикальных и горизонтальных несущих конструкций, прилегающих к локальному разрушению. При этом следует рассматривать как конструкции этажа, на котором возникает локальное разрушение, так и конструкции вышележащего и нижележащего этажей.

Каждое перекрытие высотного здания должно быть рассчитано на восприятие веса участка перекрытия вышележащего этажа (постоянная и длительная нагрузки с коэффициентом динамичности k_f = 1,5) на площади 80 м^2 для зданий высотой до 200 м и 100 м^2 для зданий выше 200 м.

Основные средства защиты высотных зданий от прогрессирующего обрушения – резервирование прочности конструктивных элементов в соответствии с расчетами; повышение пластических свойств применяемой стали и арматуры; включение в работу пространственной системы ненесущих элементов.

Для повышения эффективности сопротивления прогрессирующему обрушению здания следует:

- проектировать колонны, пилоны, стены с введением жесткой арматуры в виде прокатных или сварных вертикальных элементов, проектировать сталежелезобетонные перекрытия;

- вводить, при необходимости, в несущую систему здания аутригерные конструкции в виде систем перекрестных ферм или стен;

- для опорных сечений балок и ригелей, а также узлов их соединений с колоннами (стенами, пилонами) принимать прочность по поперечной силе в 1,5 раза выше их несущей способности по изгибу с учетом пластических свойств в пролете;

- шпоночные соединения в сборно-монолитных конструкциях проектировать так, чтобы прочность отдельных шпонок на срез была в 1,5 раза больше их прочности при смятии;

- нижнее армирование изгибаемых железобетонных конструкций принимать неразрезным по всей длине.

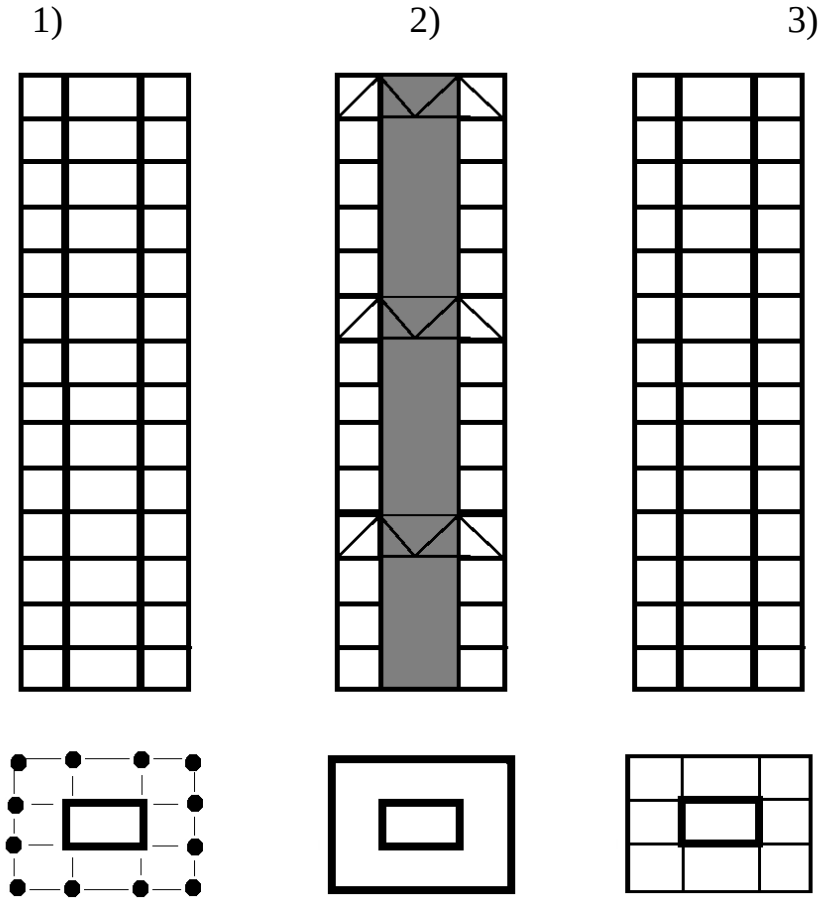
Минимальная площадь сечения (суммарная для нижней и верхней арматуры) рабочей продольной арматуры в изгибаемых железобетонных конструкциях должна составлять не менее 0,25 % площади сечения бетона.

Продольную (вертикальную) междуэтажную арматуру пилона (колонны, стены) следует проектировать на восприятие возникающих растягивающих усилий, но не менее 10 кН (1 тс) на каждый 1 м^2 грузовой площади этого пилона (колонны, стены).

Приложение

В наиболее высоких зданиях мира преимущественно используются следующие конструктивные системы:

1. Каркасно-ствольная;
2. Ствольно-оболочковая;
3. Ствольно-стеновая.

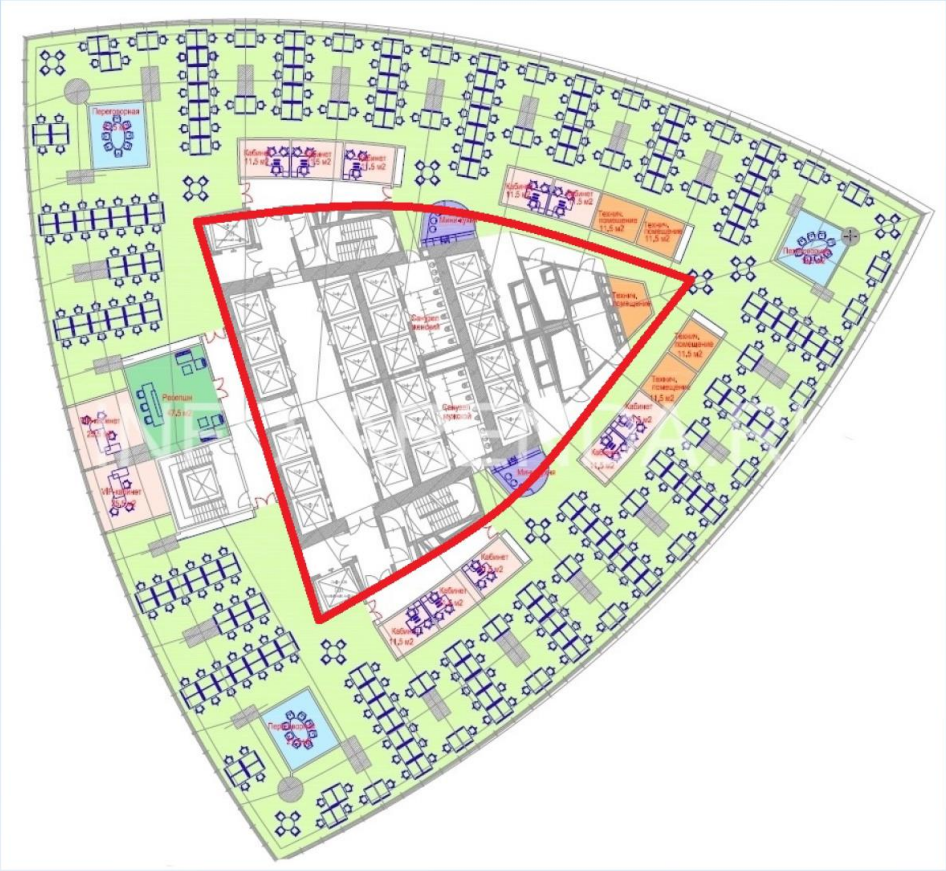


Примеры зданий с каркасно-ствольной системой

Башня Федерация. Россия.

Башня «Восток» — 97-этажная конструкция. 25 ноября 2014 года «Башня Федерация» стала самым высоким зданием в России и Европе. Верхняя отметка строящейся башни «Восток» комплекса «Федерация» достигла 373 метра.

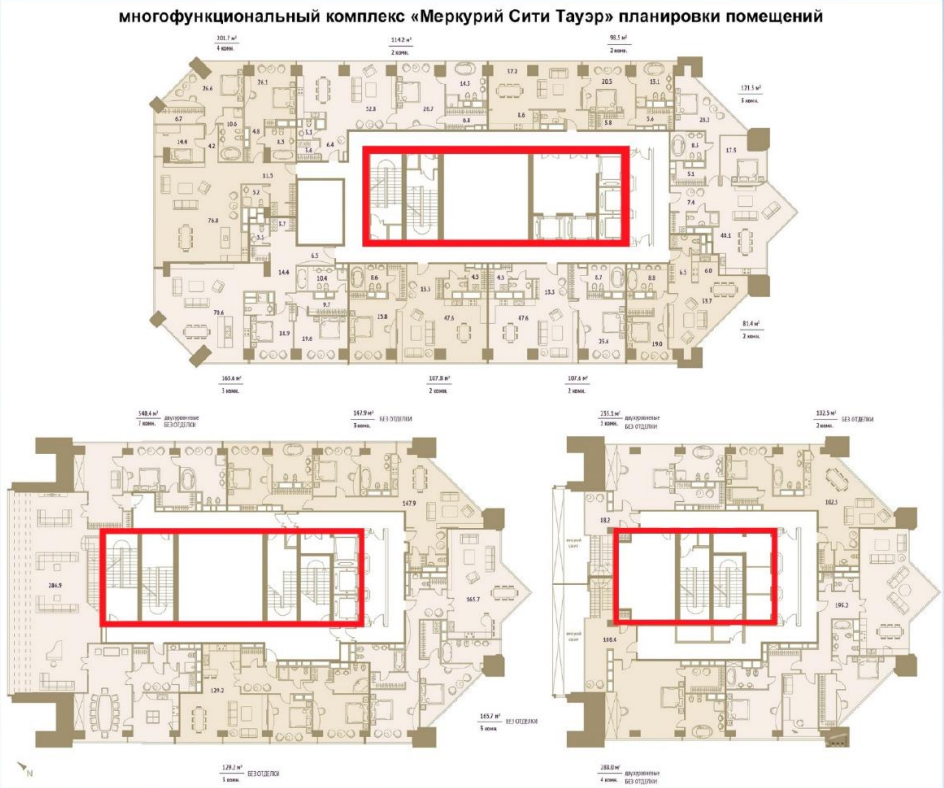
Красным на плане 38 этажа показано ядро жесткости, включающее в себя лифтовые шахты здания.



Меркурий Сити. Россия.

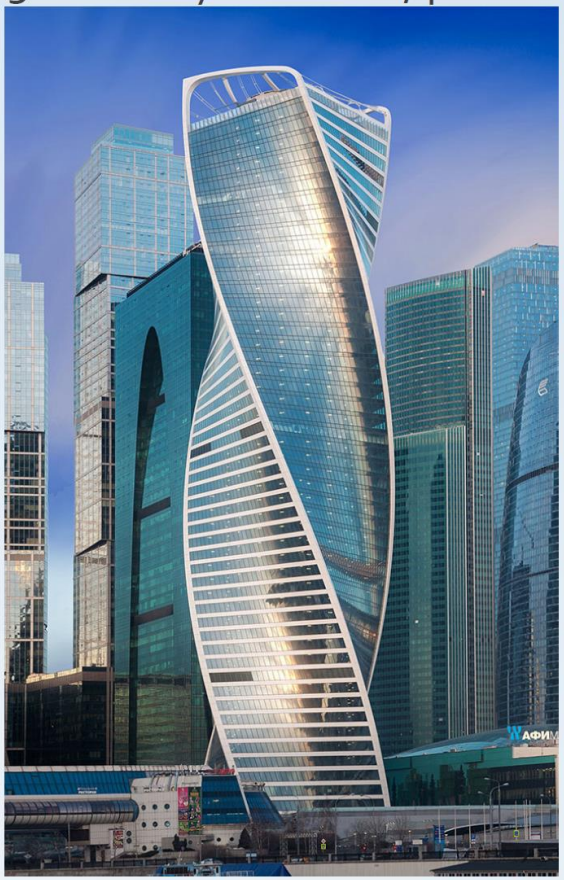
«Меркурий Сити» — небоскрёб, построенный на 14 участке ММДЦ «Москва-Сити». Высота здания составляет 338,8 метров. 75-этажная башня «Меркурий Сити» построена на территории Московского международного делового центра.

Красным на плане этажа показано ядро жесткости, включающее в себя лифтовые шахты и лестничные пролеты здания.

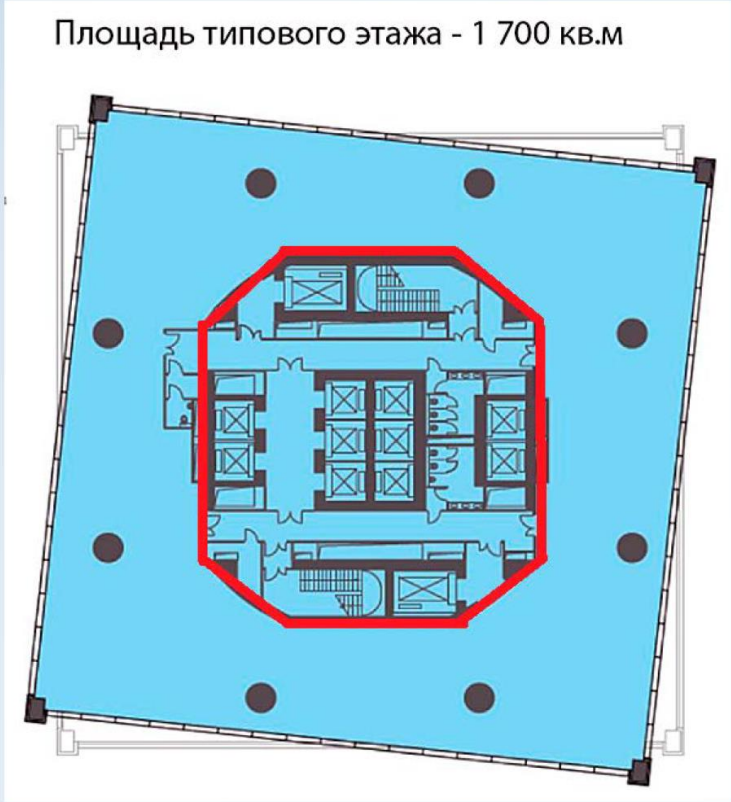


Башня Эволюция. Россия.

Башня Эволюция — многофункциональный комплекс Московского международного делового центра, включающий в себя закрученную вокруг собственной оси 255-метровую 52-этажную башню, расположенную на трёхуровневом стилобате.

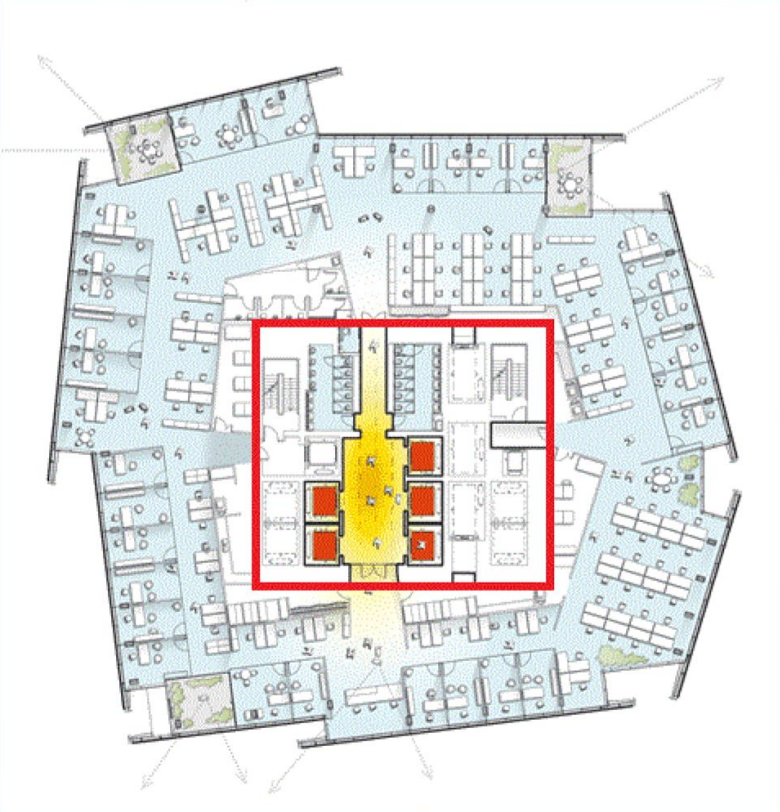


Красным на плане этажа показано ядро жесткости, включающее в себя лифтовые шахты и лестничные пролеты здания.
Здание выполнено в ствольно-каркасной системе.



The Shard. London.

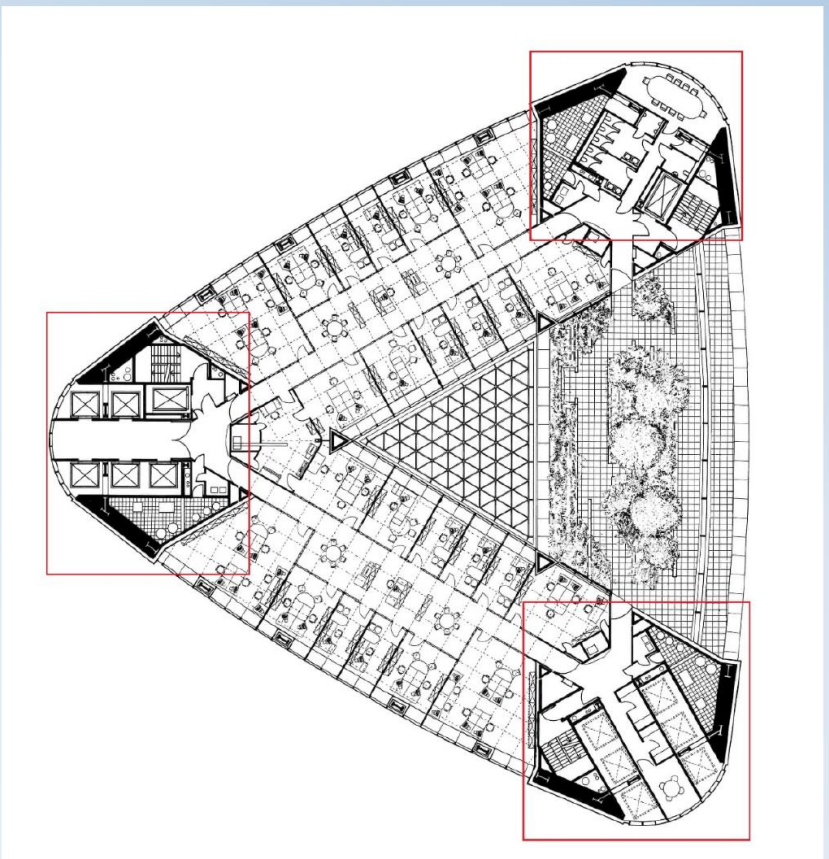
The Shard— небоскрёб в Лондоне (310 м, 87 этажей). 30 марта 2012 года здание достигло своей верхней отметки в 310 метров, став самым высоким зданием не только в Лондоне, но и в Европе, а к настоящему моменту является четвёртым по высоте европейским небоскребом. Церемония открытия состоялась 5 июля 2012 года.



Здание Коммерцбанка. Франкфурт .

Небоскрёб в центре Франкфурта-на-Майне. Построенный в 1997 году небоскрёб высотой 259 м, а вместе с антенной — почти 300 м, пятьдесят три этажа, Коммерцбанк является первым экологически чистым в мире офисным небоскребом и по окончании строительства он был самым высоким зданием в Европе.

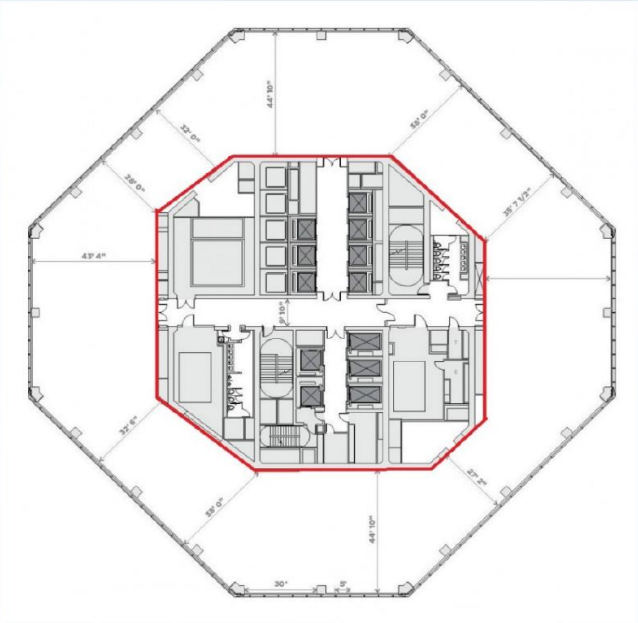
Красным на плане этажа показаны ядра жесткости, включающие в себя лифтовые шахты и лестничные пролеты здания.
Здание имеет три ствола жесткости.



Всемирный Торговый Центр 1.США.

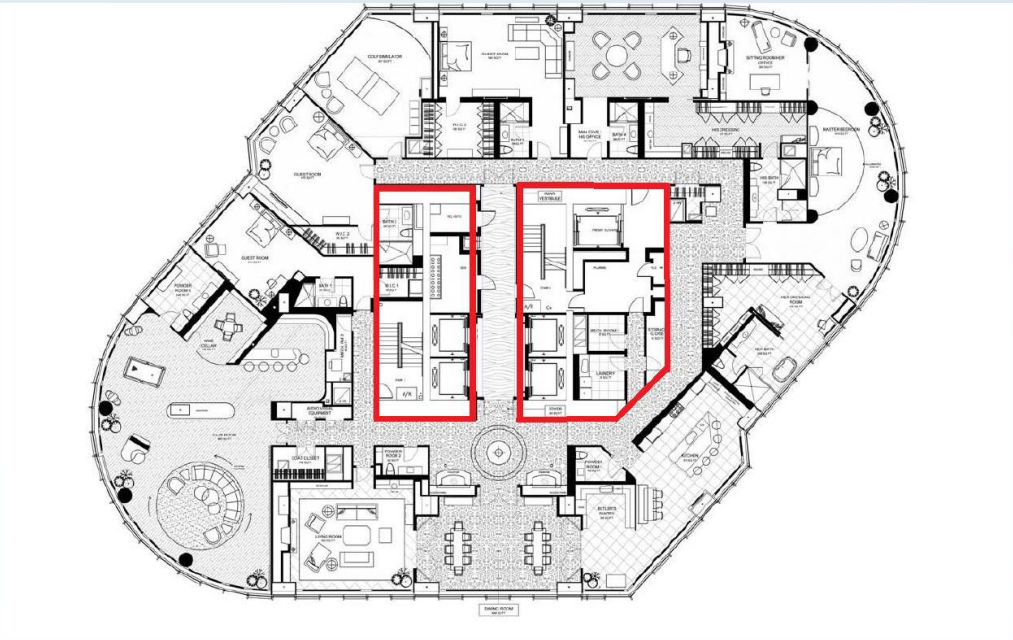
Центр международной торговли 1. Центральное здание в новом комплексе Всемирного торгового центра в нижнем Манхэттене (город Нью-Йорк, США). Имея высоту 541м, Является шестым по высоте небоскрёбом в мире. Здание расположено в северо-западном углу участка площадью 65 000 квадратных метров, на котором располагался разрушенный 11 сентября 2001 года предыдущий комплекс зданий Всемирного торгового центра, включая известные башни-близнецы.
По состоянию на 2 июня 2013 года, строительство небоскрёба было завершено. Здание было открыто 3 ноября 2014 года.

Красным на плане этажа показано ядро жесткости, включающее в себя лифтовые шахты и лестничные пролеты здания.
Здание выполнено в ствольно-каркасной системе.



Международный отель и башня Трампа. США.

Башня Трампа - 92-этажное здание, высотой 423 метра до верхушки шпиля. Высота до крыши составила 360 метров. Здание расположено на берегу реки Чикаго рядом с местом впадения реки в озеро Мичиган. Небоскреб состоит из трёх частей (каждая из них наз. setback), что в стиле архитектуры зданий Чикаго. Высота каждой части находится на уровне соседнего здания, чтобы обеспечить визуальную преемственность с окружающим ландшафтом.

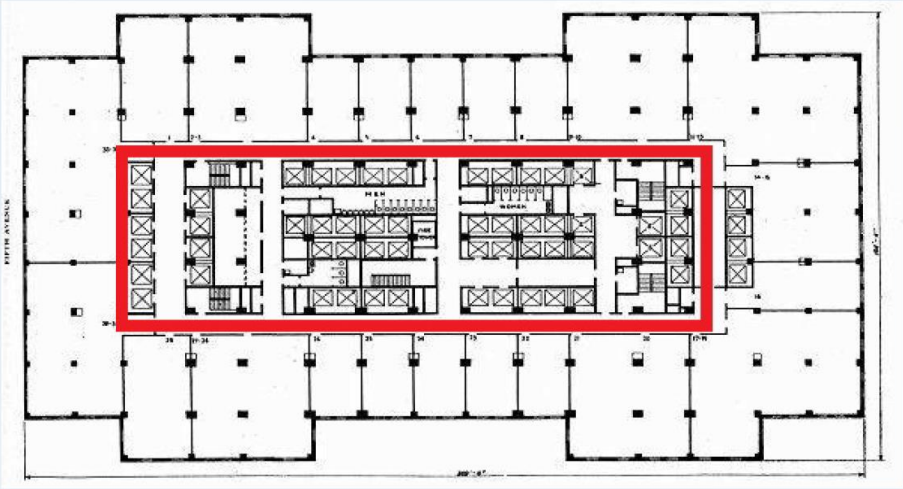


Красным на плане этажа показано ядро жесткости, включающее в себя лифтовые шахты и лестничные пролеты здания.

Эмпайр-стейт-билдинг. США.

Эмпайр-стейт-билдинг— 103-этажный небоскрёб, высотой 381м, расположенный в Нью-Йорке. С 1931 по 1970, до открытия Северной башни Всемирного торгового центра, был высочайшим зданием мира. В 2001 году, когда рухнули башни Всемирного торгового центра, небоскрёб снова стал самым высоким зданием Нью-Йорка (до 2012 года, когда строящийся Всемирный торговый центр 1 стал выше).Один из самых первых небоскребов в Мире.

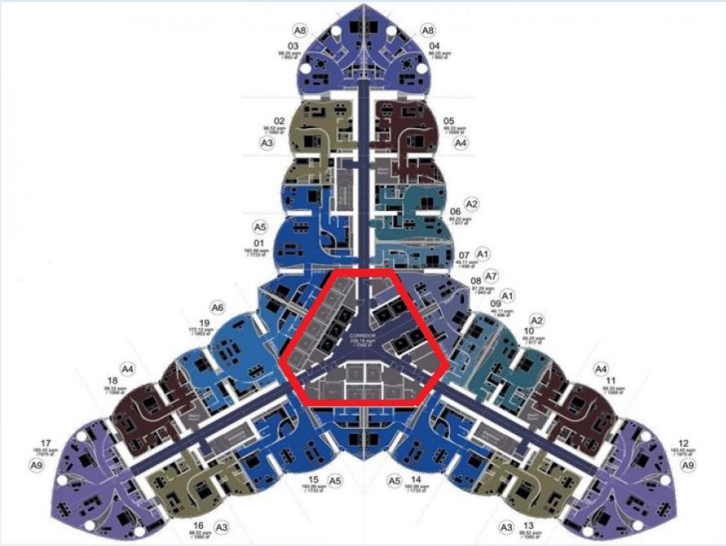
Красным на плане 15 этажа показано ядро жесткости, включающее в себя лифтовые шахты и лестничные пролеты здания.



Бурдж Халифа. ОАЭ.

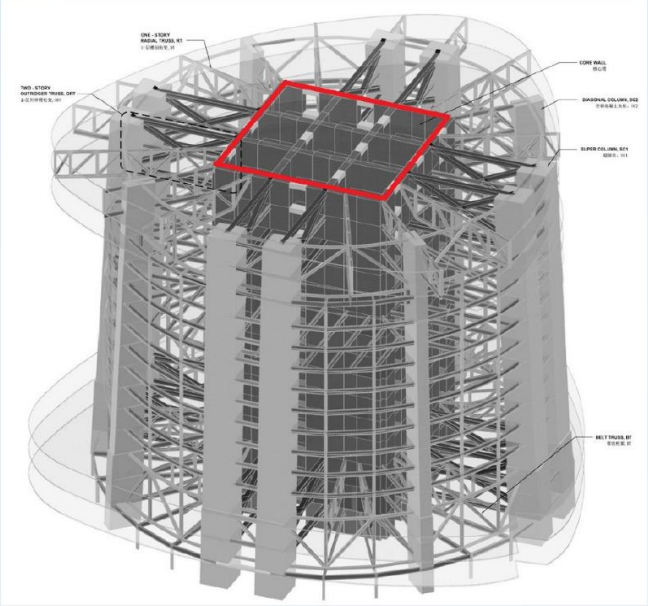
Бурдж-Хали́фа— небоскрёб в Дубае, самое высокое сооружение в мире. Форма здания напоминает сталагмит. Точная высота сооружения составляет 828 м (при количестве этажей 163), причём 180 метров приходится на шпиль (самый длинный в мире). Внутри комплекса размещены отель, квартиры, офисы и торговые центры.

Красным на плане этажа показано ядро жесткости, включающее в себя лифтовые шахты и лестничные пролеты здания.
Здание имеет Ствольно-каркасную систему.



Шанхайская Башня. Китай.

Шанхай Тауэр — сверхвысокое здание в городе Шанхай. Рядом с небоскребом стоят башня Цзинь Мао и Шанхайский всемирный финансовый центр. Высота здания составляет 632 метра, общая площадь — 380 тыс. м². По завершении строительства в 2015 году оно стало высочайшим зданием в Шанхае, первым по высоте в Китае и третьим в мире свободно стоящим сооружением.

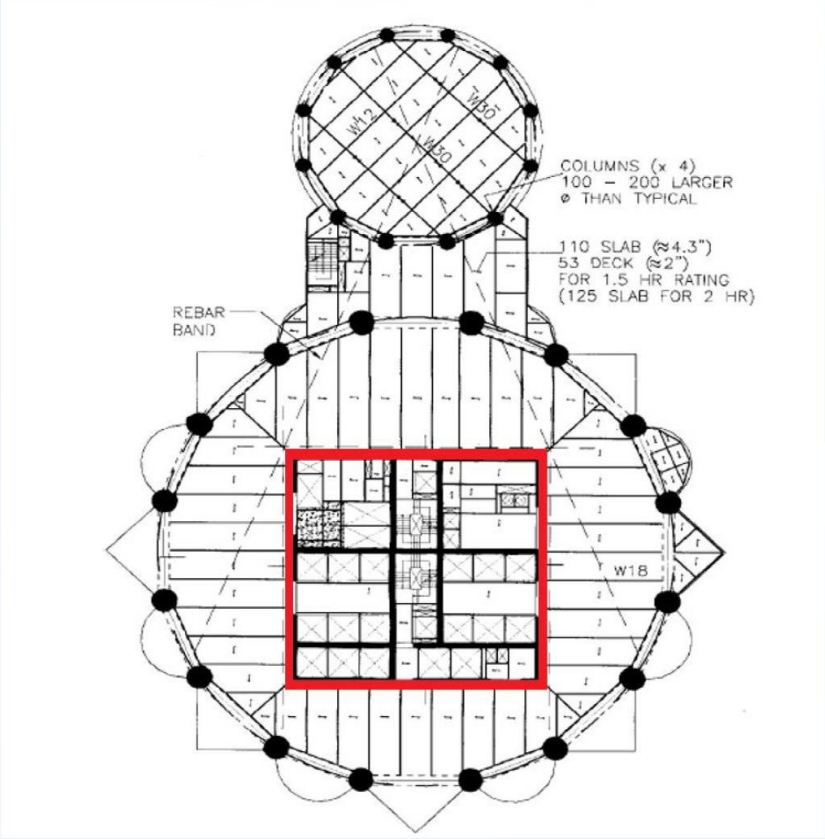


Красным в проекции обозначена несущая система в виде центрального ядра жесткости.
Каркасно-ствольная система.

Башни Петронас. Малайзия.

Ба́шни Петро́нас — 88-этажный небоскрёб. Высота — 451,9 метров. Находится в столице Малайзии Куала-Лумпуре. Восьмые по высоте зданий в Азии.

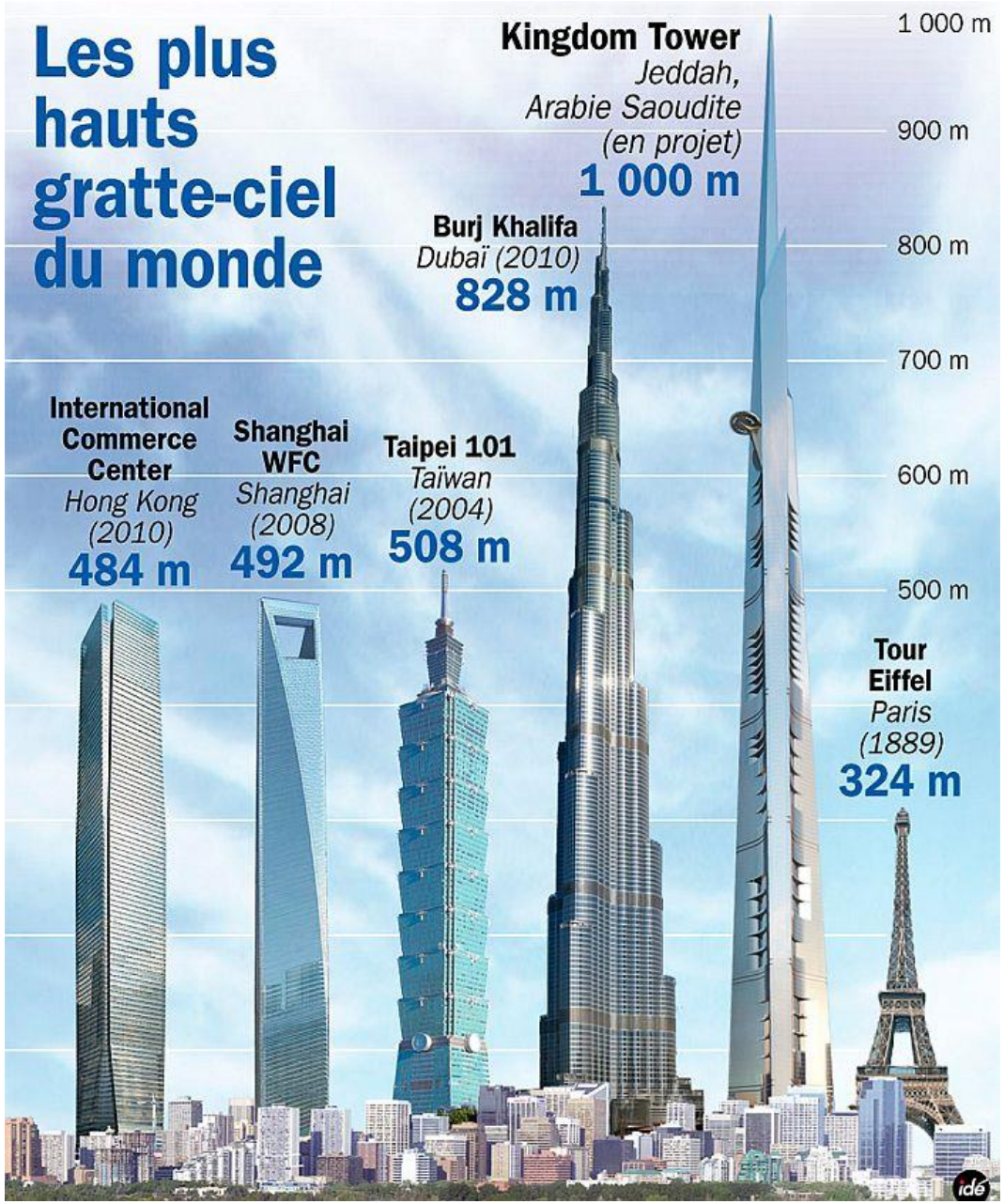
Красным на плане этажа показано ядро жесткости, включающее в себя лифтовые шахты и лестничные пролеты здания. Здание имеет каркасно-ствольную систему.



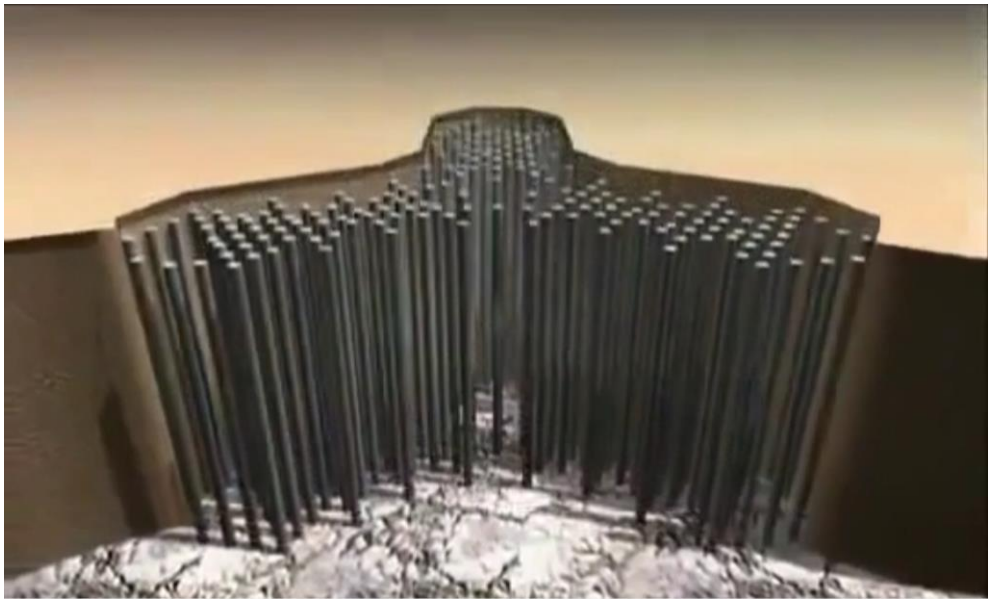
Джидда Тауэр. Саудовская Аравия.

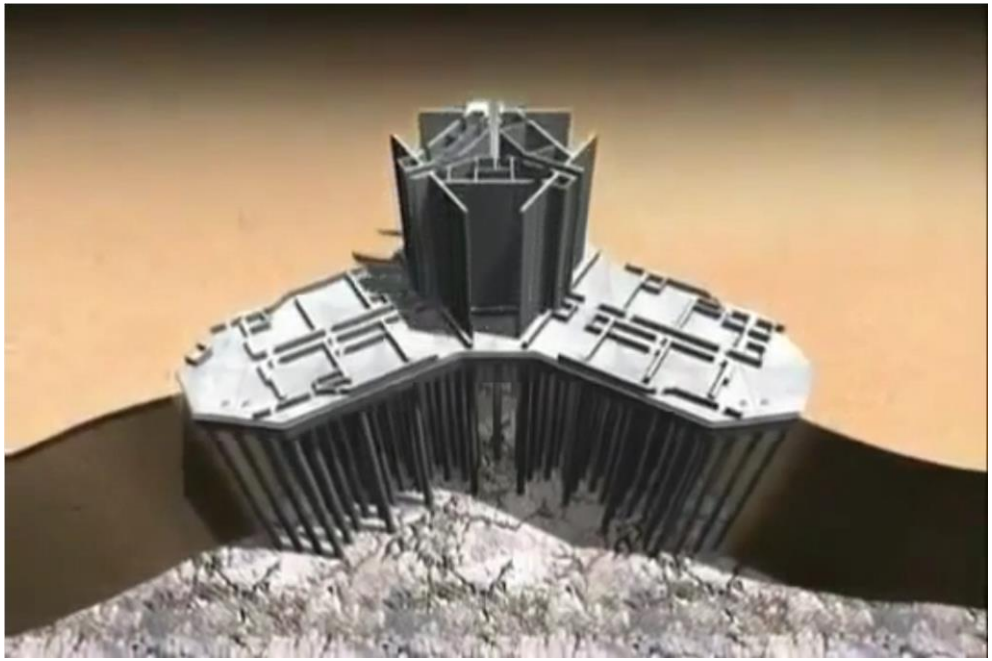
Джидда Тауэр - проект самого высокого здания в мире. Строится в 32 км к северу от Джидды, Саудовская Аравия. Окончание строительства Джида Тауэр планируется в 2020 году. Здание высотой более 1км должно быть самым высоким зданием в Мире

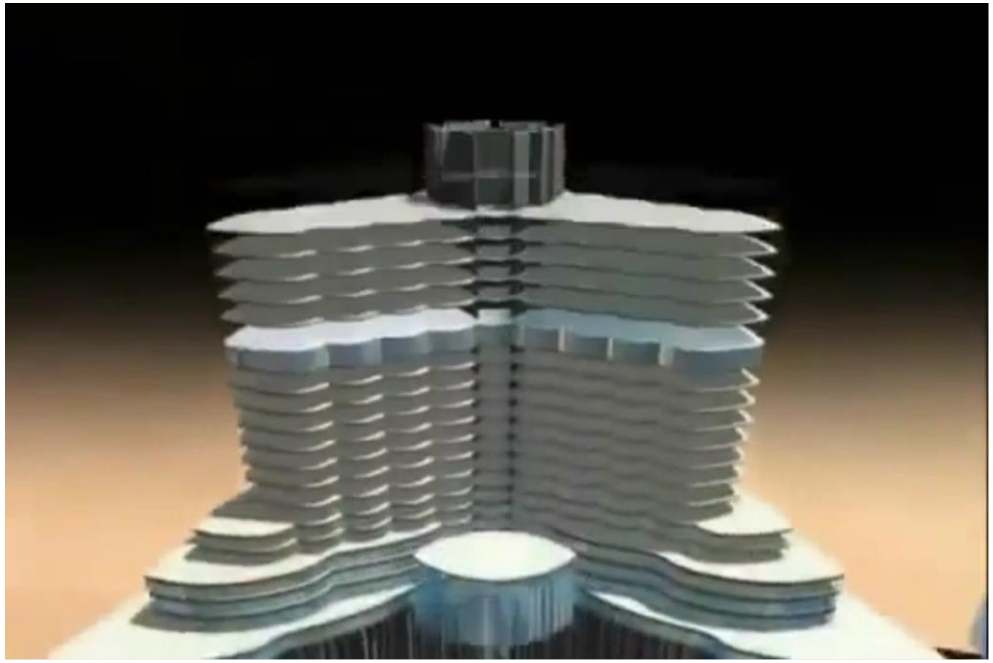
На данный момент построено более 50 этажей здания. Планируемая этажность небоскреба 167 этажей, планируемая общая площадь 530 000 квадратных метров.


Les plus hauts gratte-ciel du monde
Kingdom Tower
Jeddah, Arabie Saoudite (en projet)
1 000 m
Burj Khalifa
Dubaï (2010)
828 m
International Commerce Center
Hong Kong (2010)
484 m
Shanghai WFC
Shanghai (2008)
492 m
Taipei 101
Taïwan (2004)
508 m
Tour Eiffel
Paris (1889)
324 m
1 000 m
900 m
800 m
700 m
600 m
500 m

В центре Джидда тауэр находится ядро жесткости, которое будет нести на себе всю нагрузку здания. Небоскреб имеет каркасно-ствольную конструктивную систему, доказывая тем самым актуальность использования ствольной конструкции в высотном строительстве настоящего и будущего.







Тайбей 101. Тайвань.

Тайбэй 101 — небоскрёб, расположенный в столице Тайваня — Тайбэе. Этажность небоскрёба составляет 101 этаж, высота — 509,2 м, вместе со шпилем. Строительство небоскрёба началось в 1999 году. Официальное открытие состоялось 17 ноября 2003 года, в эксплуатацию здание было введено 31 декабря 2003 года.

Красным на плане 37 этажа показано ядро жесткости, включающее в себя лифтовые шахты и лестничные пролеты здания.

Конструктивная система: каркасно-ствольная.

Здание имеет 101 надземных этажей и 5 подземных.

Надземная часть разбита на 8 ярусов по 8 этажей в каждом, расположенных над 25 этажной базовой частью.

Кроме ядра жёсткости в здании используется 8 сверхмощных железобетонных колонн размером 2,4*3 м в поперечном сечении и 16 сталежелезобетонных колонн. Первые 25 этажей колонны размещены с наклоном. Поперечное сечение сталежелезобетонных колонн с 35 по 77 этаж уменьшается. Выше 66 этажа стальные профили уже не заполняются бетоном, остаются стальные колонны.

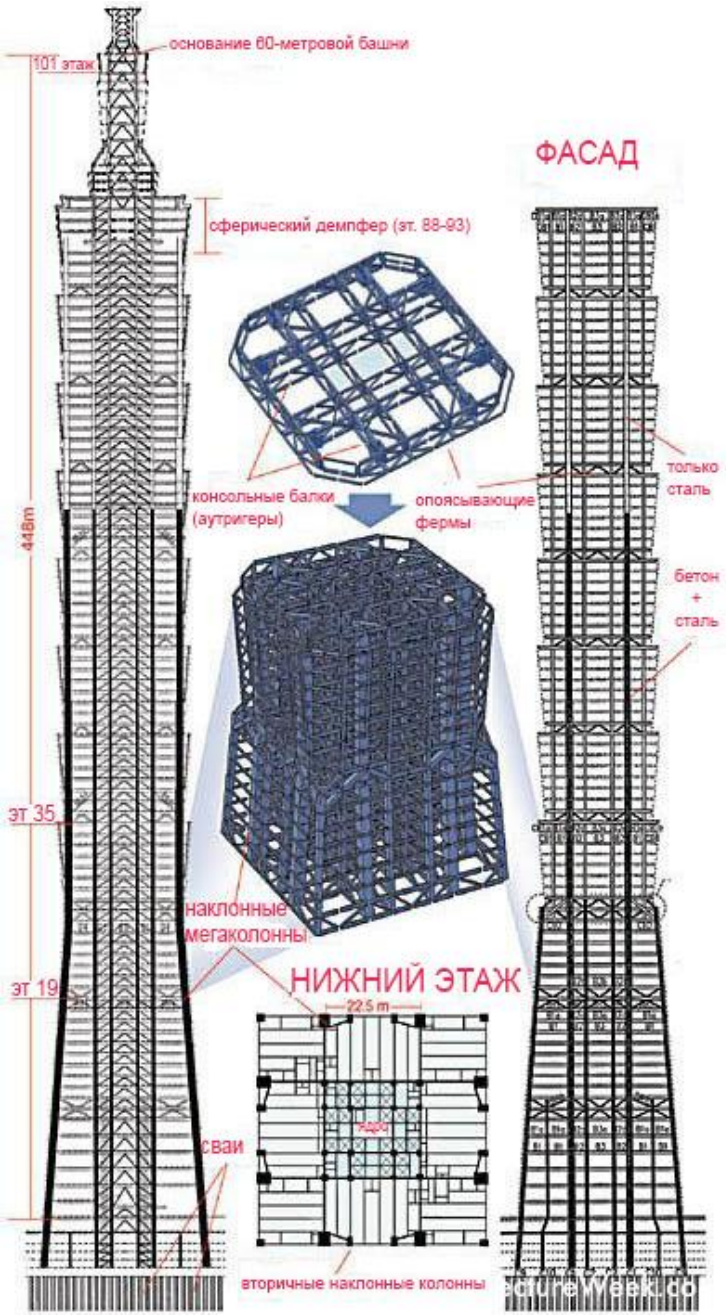
Через каждые 8 этажей расположен технический отсек, в котором находятся пересекающиеся стальные аутригерные фермы.

Фундамент

380 свай, часть из которых длиной 30 м и достигает скального основания.

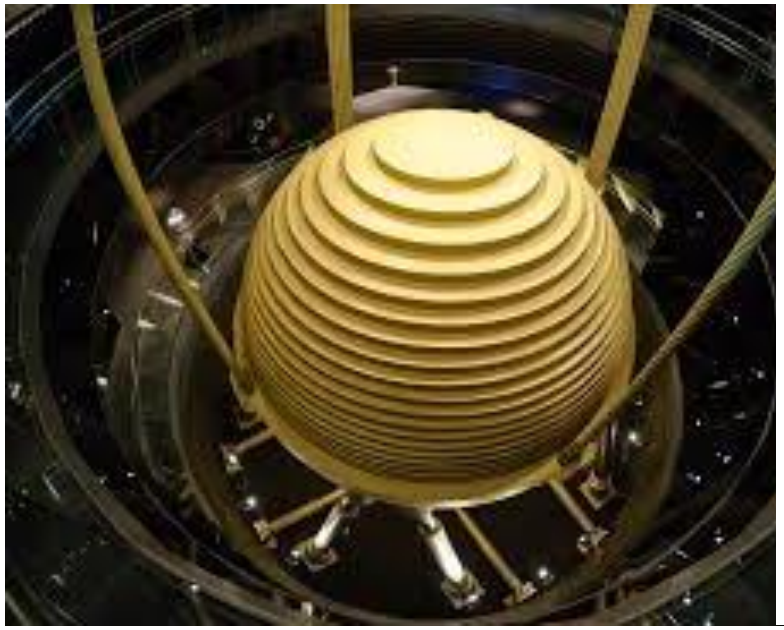
Каждая свая имеет диаметр 1,5 метра и может нести нагрузку в 1000-1300 тонн.

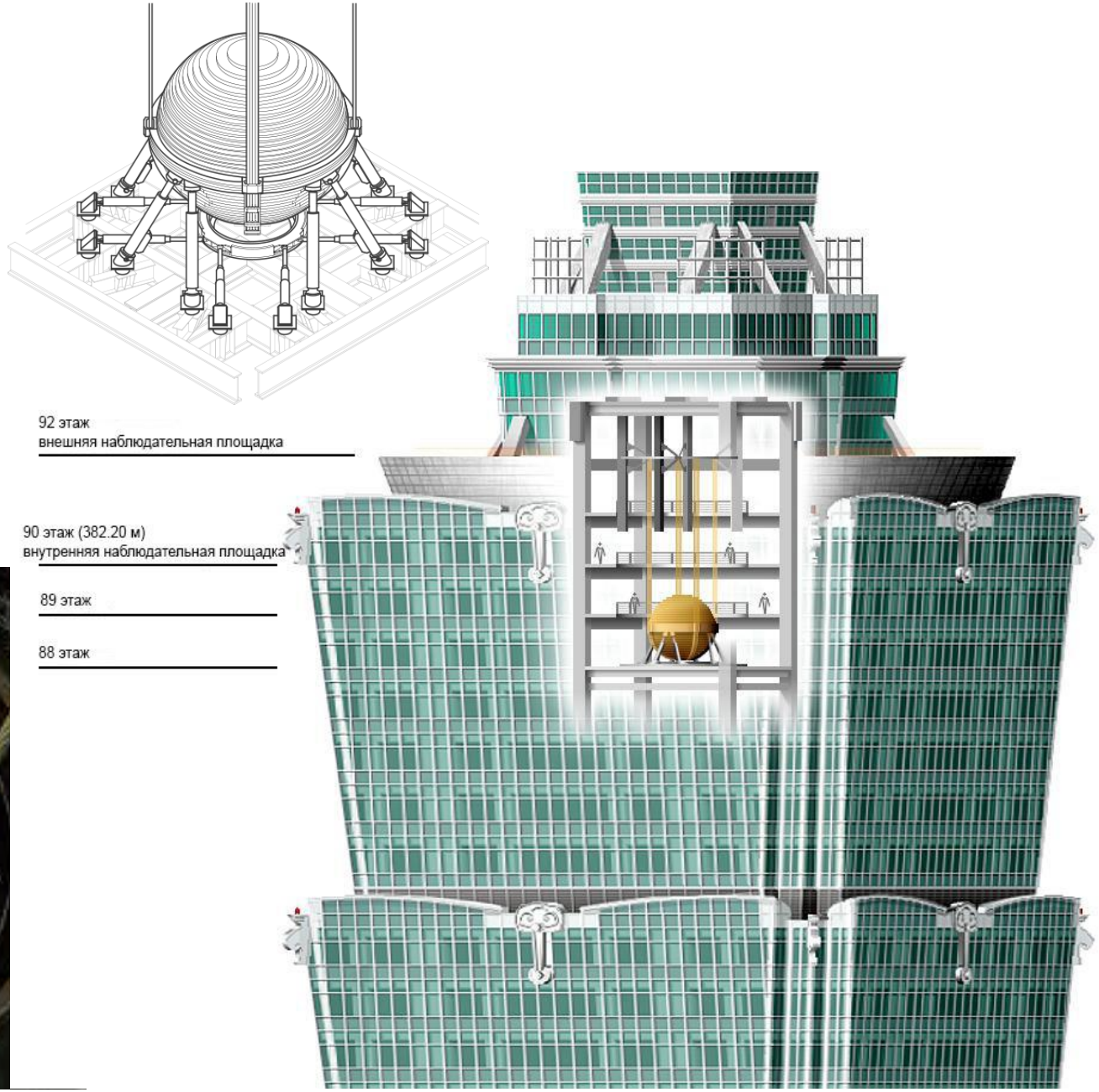
31 марта 2002 в Тайбэе произошло землетрясение силой 6,8 балла. Обследование показало, что никакого вреда землетрясением башне причинено не было, и строительство возобновилось.



В здании находится крупнейший в мире инерционный сферический демпфер. Демпфер представляет собой 800 т маятник, закреплённый на 93 этаже. На уровне горизонтальной средней линии к шару прикреплены восемь вязкостных демпфирующих устройств.

При нормальных условиях амплитуда колебаний находится в пределах 10 см. В случае катастрофической силы землетрясения или тайфуна шар будет раскачиваться с амплитудой 1,5 м.



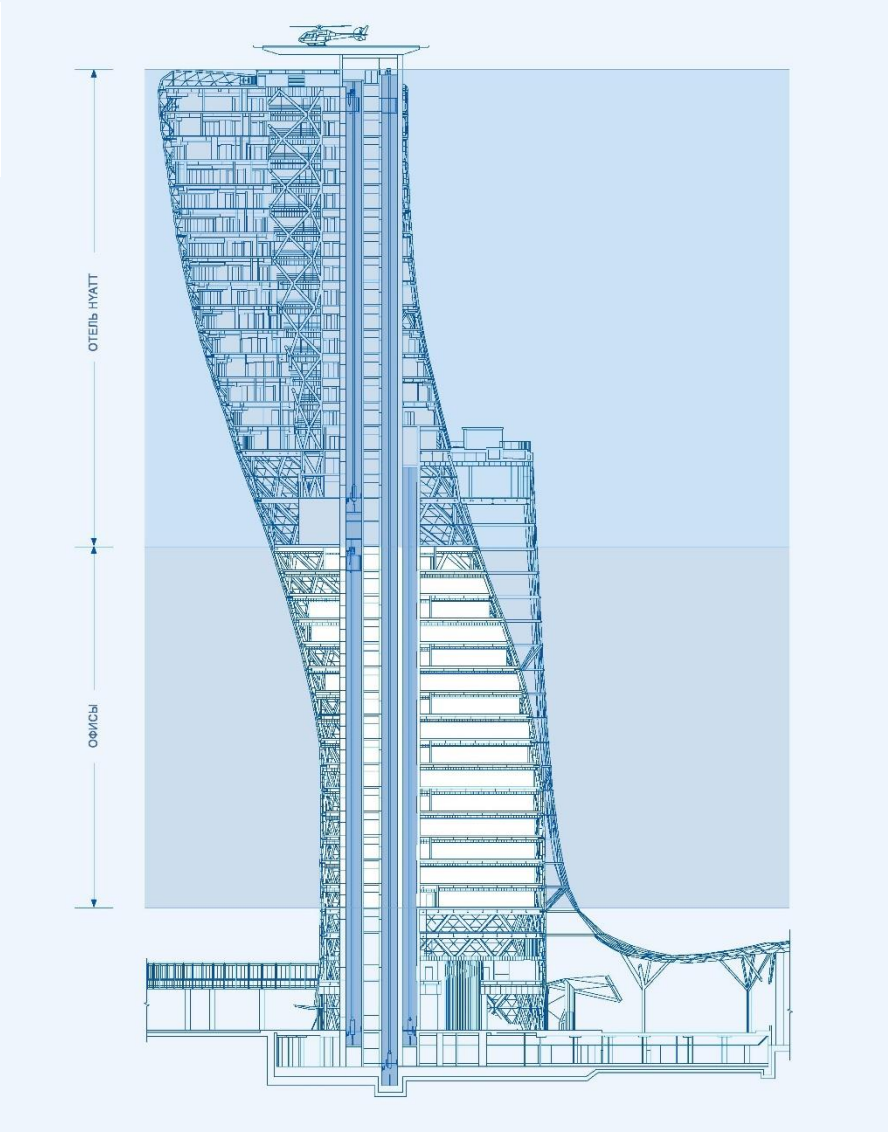


Примеры зданий со ствольно-оболочковой конструктивной системой

Capital Gate, Абу-Даби, ОАЭ

Высота здания 160 метров.
Количество этажей - 35.

1-18 этажи – офисные помещения, выше - 5-звёздочный отель Hyatt

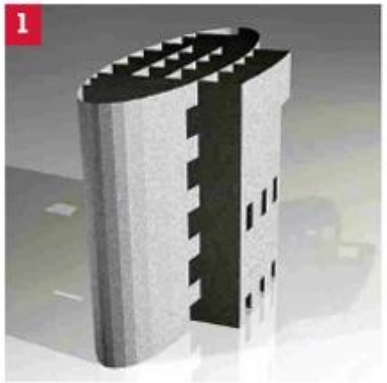


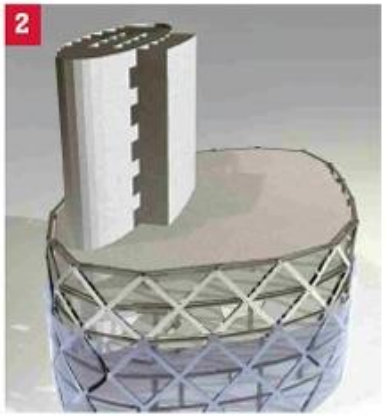
Конструктивная система: ствольно-оболочковая.

Функцию внешней несущей оболочки выполняет диагональная решётка «*diagrid*», которая также формирует силуэт здания.

Первые 12 этажей не имеют кривизны. Следующие уровни располагаются с постепенным увеличением выступов от 30 до 140 см.

Отклонение от вертикальной оси составляет 18°.

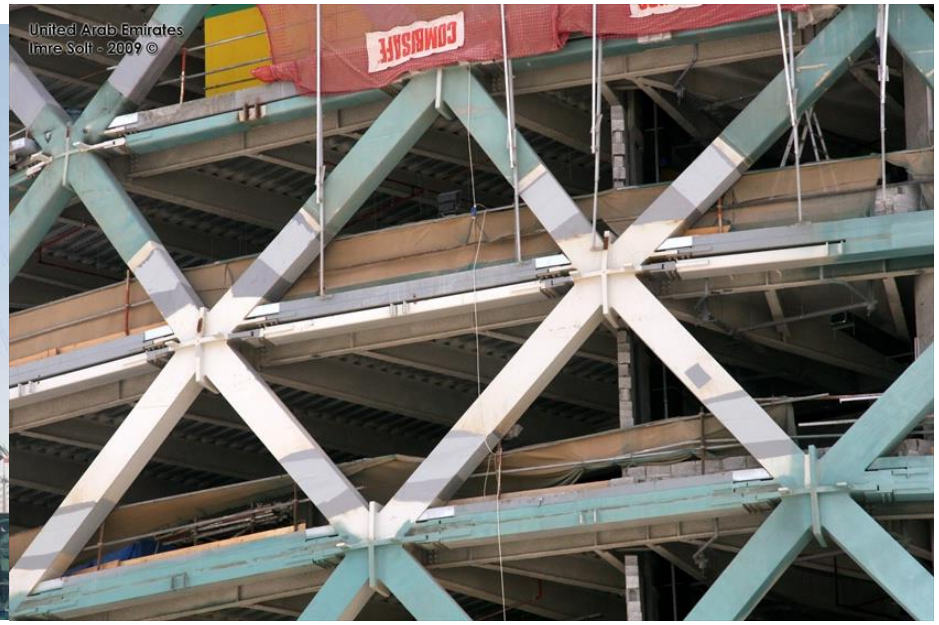

1

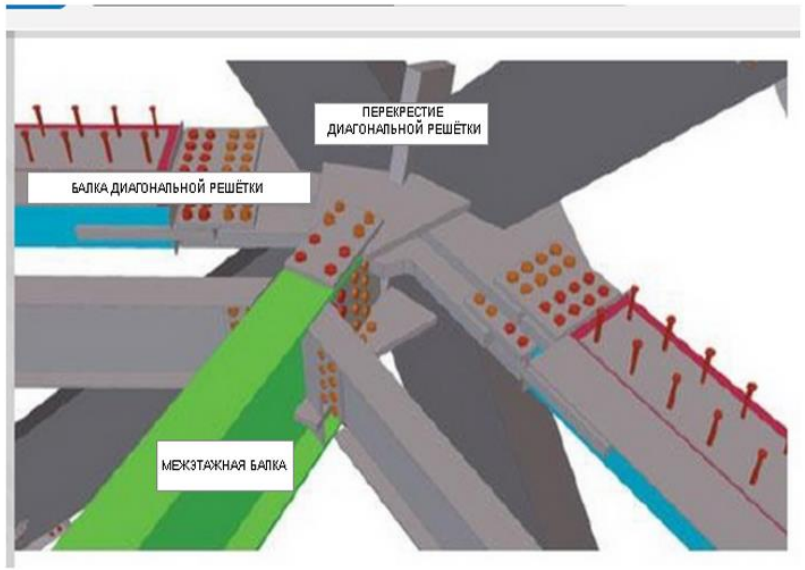

2

3

4

5


United Arab Emirates
Imre Solt - 2009 ©


ПЕРЕКРЕСТИЕ
ДИАГОНАЛЬНОЙ РЕШЁТКИ
БАЛКА ДИАГОНАЛЬНОЙ РЕШЁТКИ
МЕЖЭТАЖНАЯ БАЛКА

United Arab Emirates
Imre Solt - 2009 ©

Конструкция перекрытий формируется стальными балками, соединяющими ядро и внешнюю диагональную решётку

Диагональная решётка соединяется с балками на уровне плит перекрытия

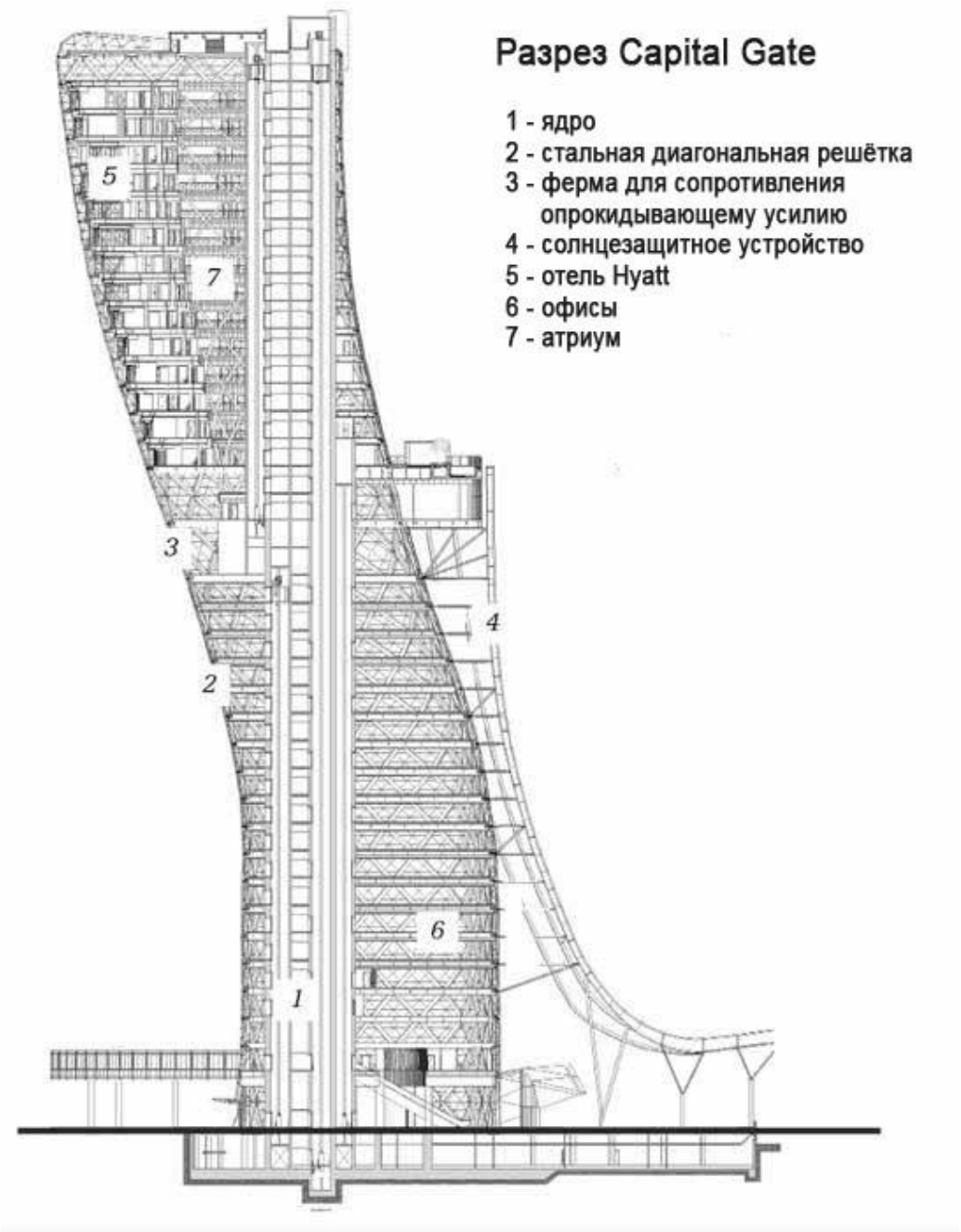
720 таких секций создают внешнюю диагональную решётку

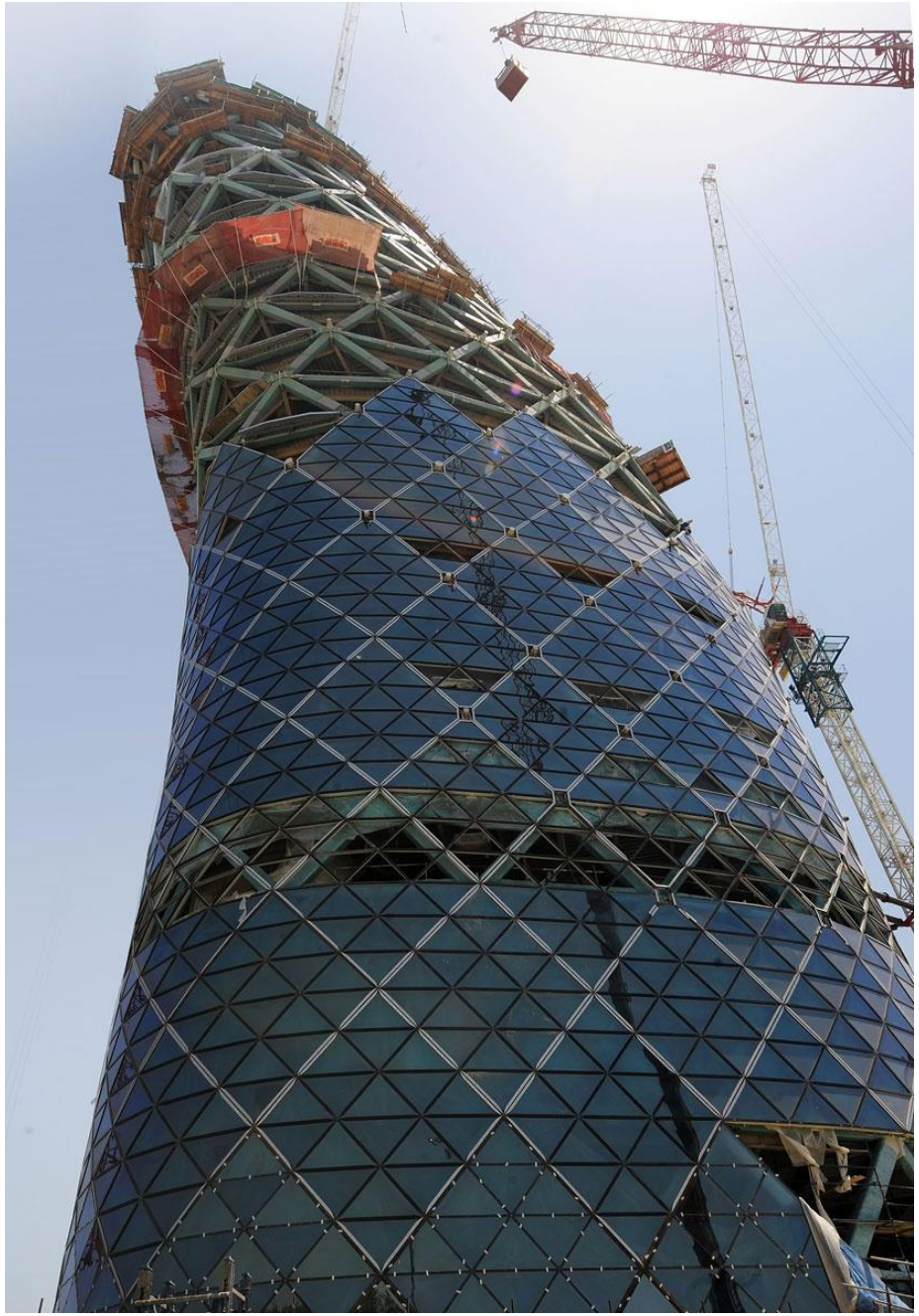
Фундамент.

Укреплен 490 сваями на глубине 20-30 м.

Сваи испытывают сжимающие усилия со стороны вылета, с противоположной – усилия растяжения.

Сверху сваи соединены монолитным железобетонным ростверком.





Matus Majer

Штаб-квартира Центрального телевидения в Пекине

Штаб-квартира CCTV имеет своеобразные формы и похожа на гигантскую петлю, расположенную в нескольких плоскостях, середина которой представляет собой полностью открытое пространство.

Обе башни отклонены от вертикали на 6 градусов и повёрнуты так, что поддерживают и уравновешивают друг друга.

Главной особенностью конструкции небоскреба является пространственная решётка здания, формирующая внешнюю несущую оболочку. Её узор хорошо читается на фасаде здания.

Здание запроектировано на восприятие сейсмической нагрузки 8 баллов.

Высота здания 234 метра.
Количество этажей – 54 и 44.

China World
Alexander.B

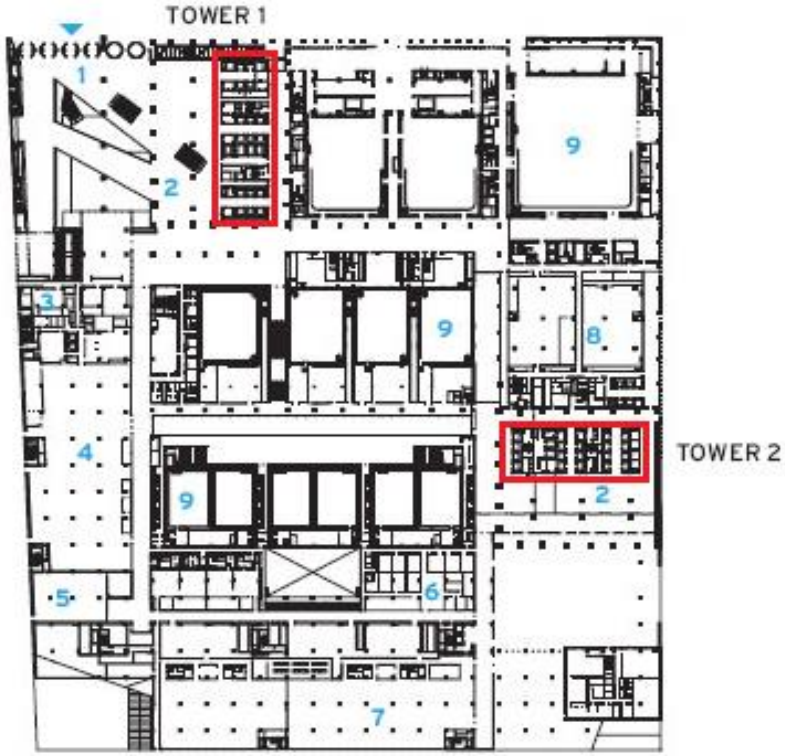
Выступающее основание
L=162м, 14 этажей, в том числе
- стилобатная часть H=45м, 9 этажей
- подземная часть H=-18m, 4 этажа

Выступающая надземная консоль:
75м на Запад, 67м на Юг

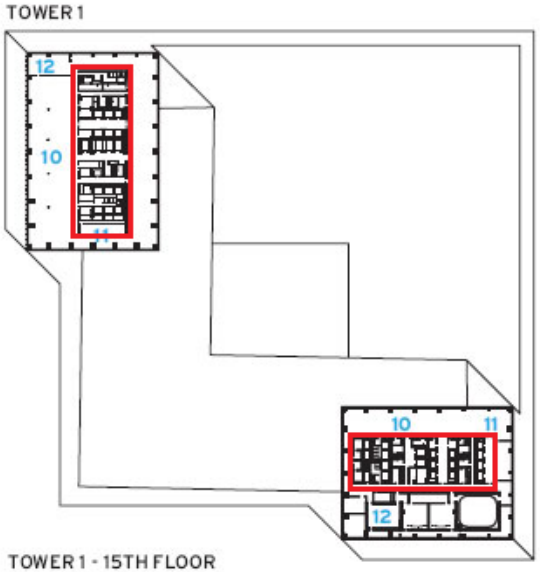
Башня 1
Высота: 234м, 54 этажа. 40x60 м.

Башня 2
Высота: 210м, 44 этажа. 40x50 м.

Общая площадь – 473 тыс. м².

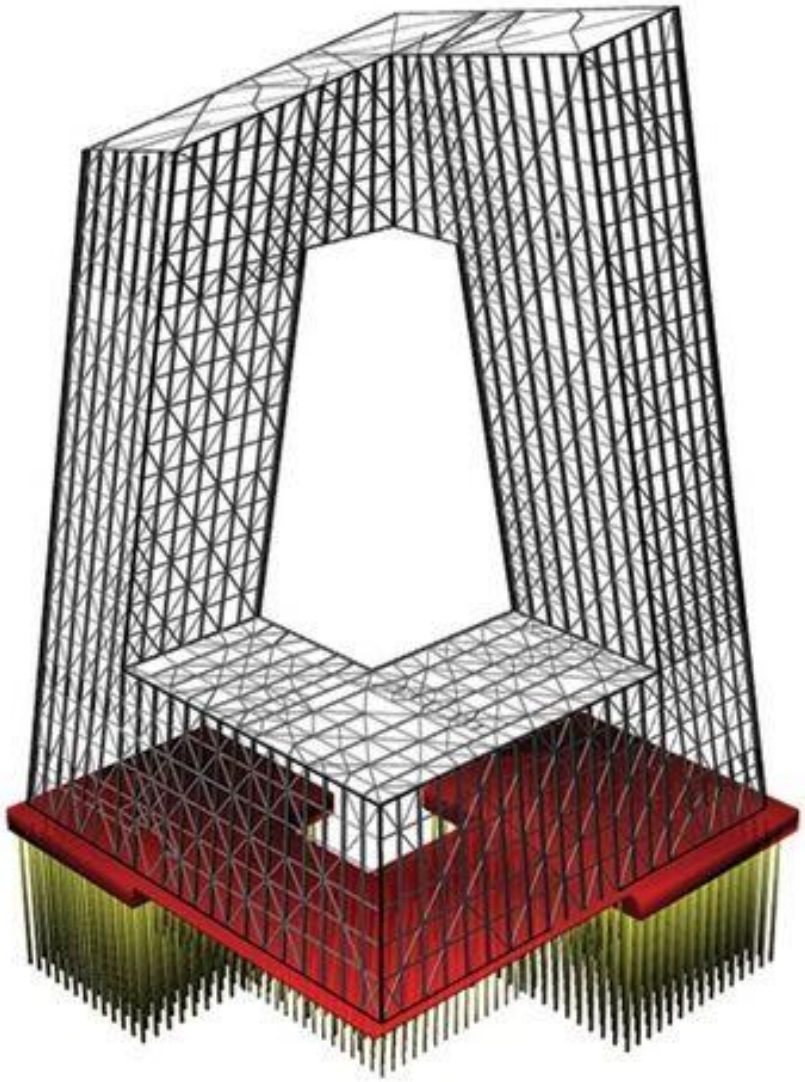


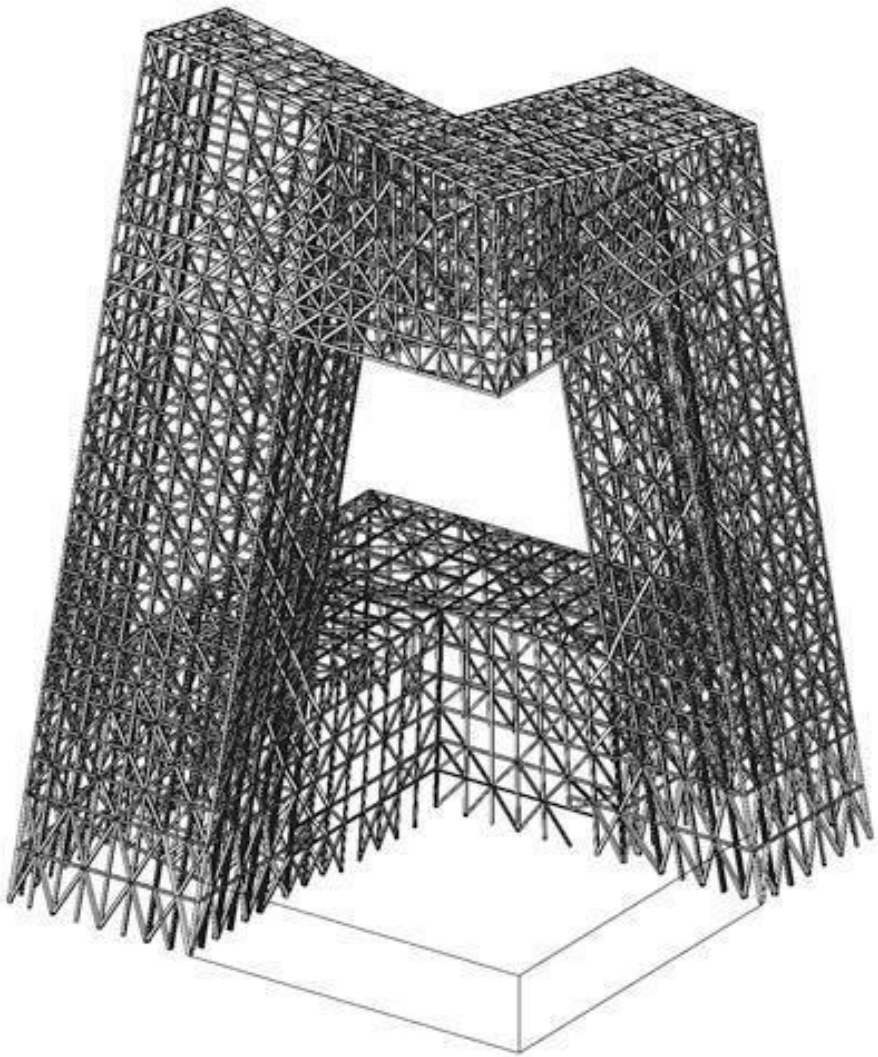
GROUND FLOOR

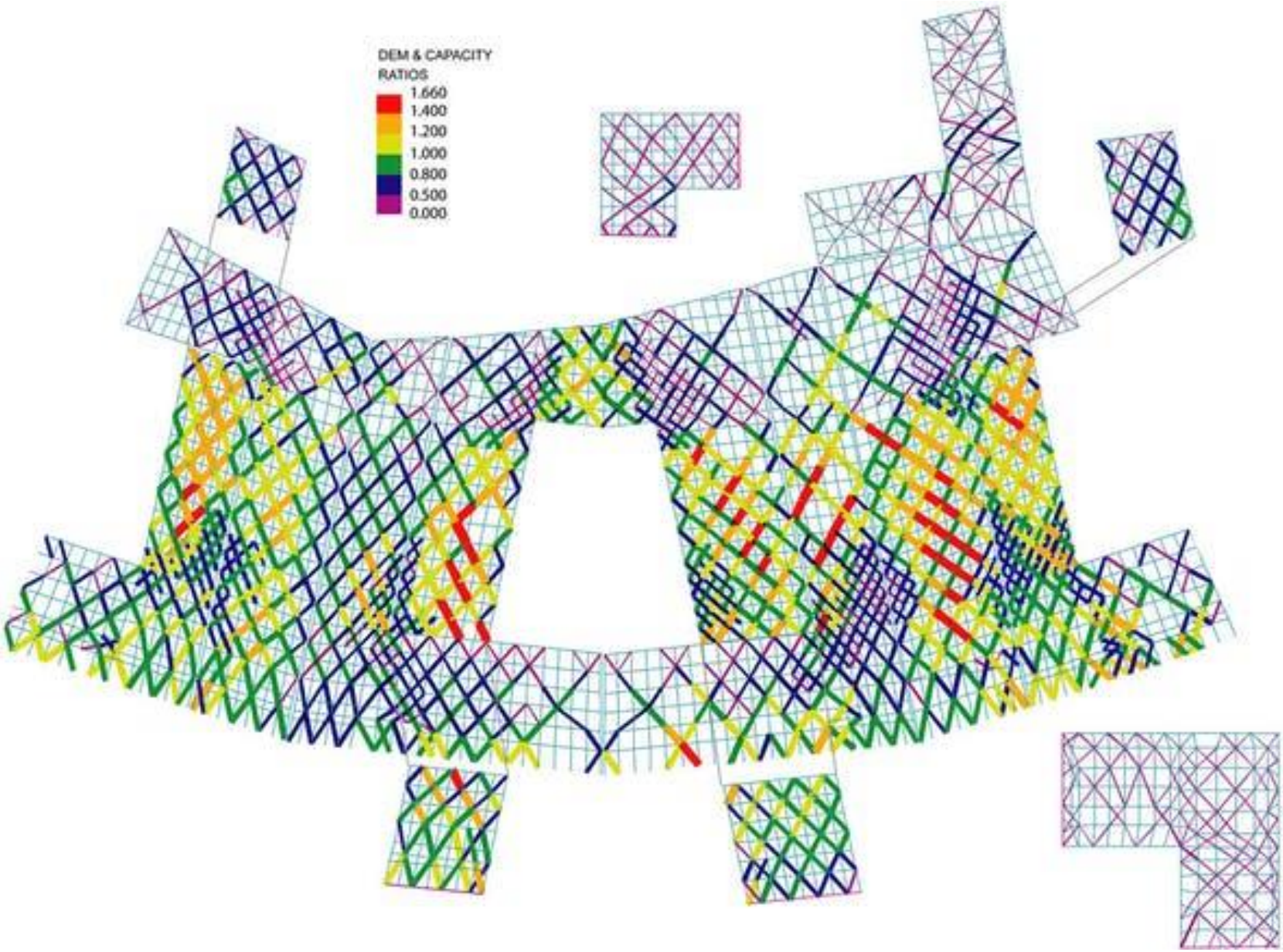


TOWER 1 - 15TH FLOOR
TOWER 2 - 14TH FLOOR

41ST FLOOR

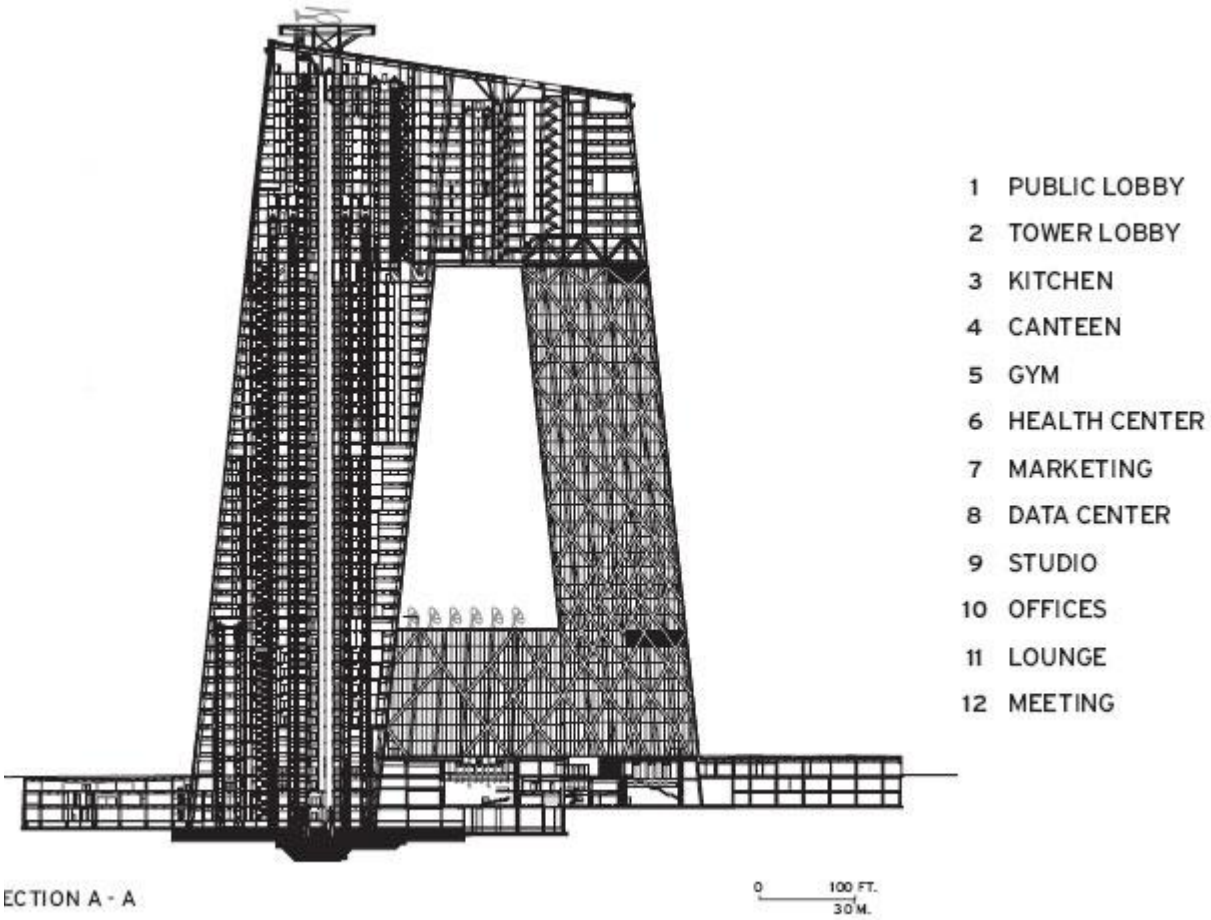


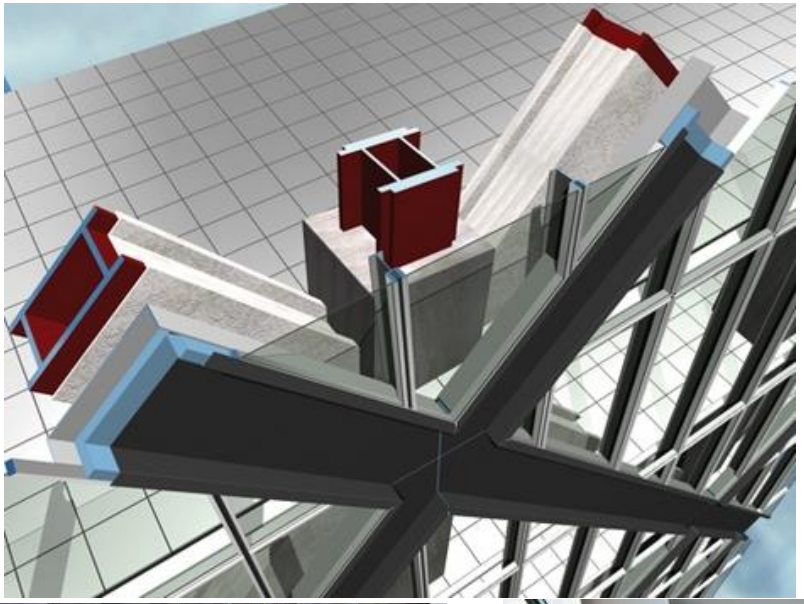


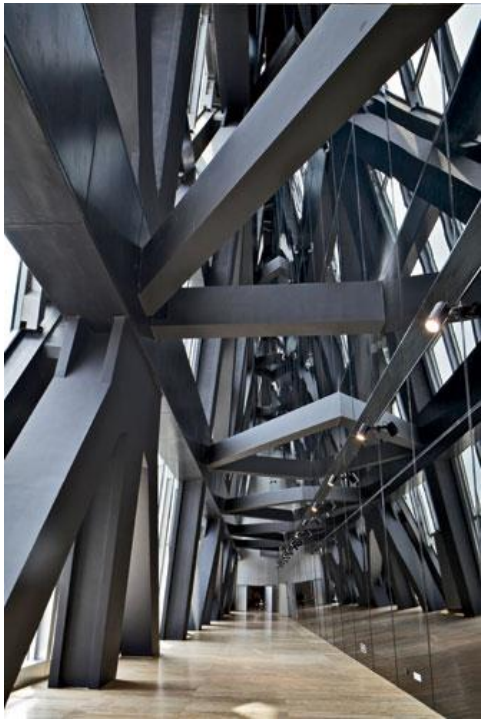

DEM & CAPACITY
RATIOS
1.660
1.400
1.200
1.000
0.800
0.500
0.000

Первоначально стальная решетка была регулярной правильной формы, однако, при расчете конструкции, размеры ячеек уменьшили в местах предполагаемых интенсивных нагрузок и, наоборот, увеличили там, где усилия при землетрясении будут минимальными. Благодаря этому создается впечатление, что узор фасада случайный и хаотичный.

Диагонально-решетчатая конструкция, «экзоскелет» башен, состоит из трубчатых элементов. Они воспринимают горизонтальные нагрузки от ветра и сейсмики. Железобетонные ядра жёсткости, расположенные в каждой башне, служат для размещения в них подъёмного оборудования, лестниц и основной массы коммуникаций.







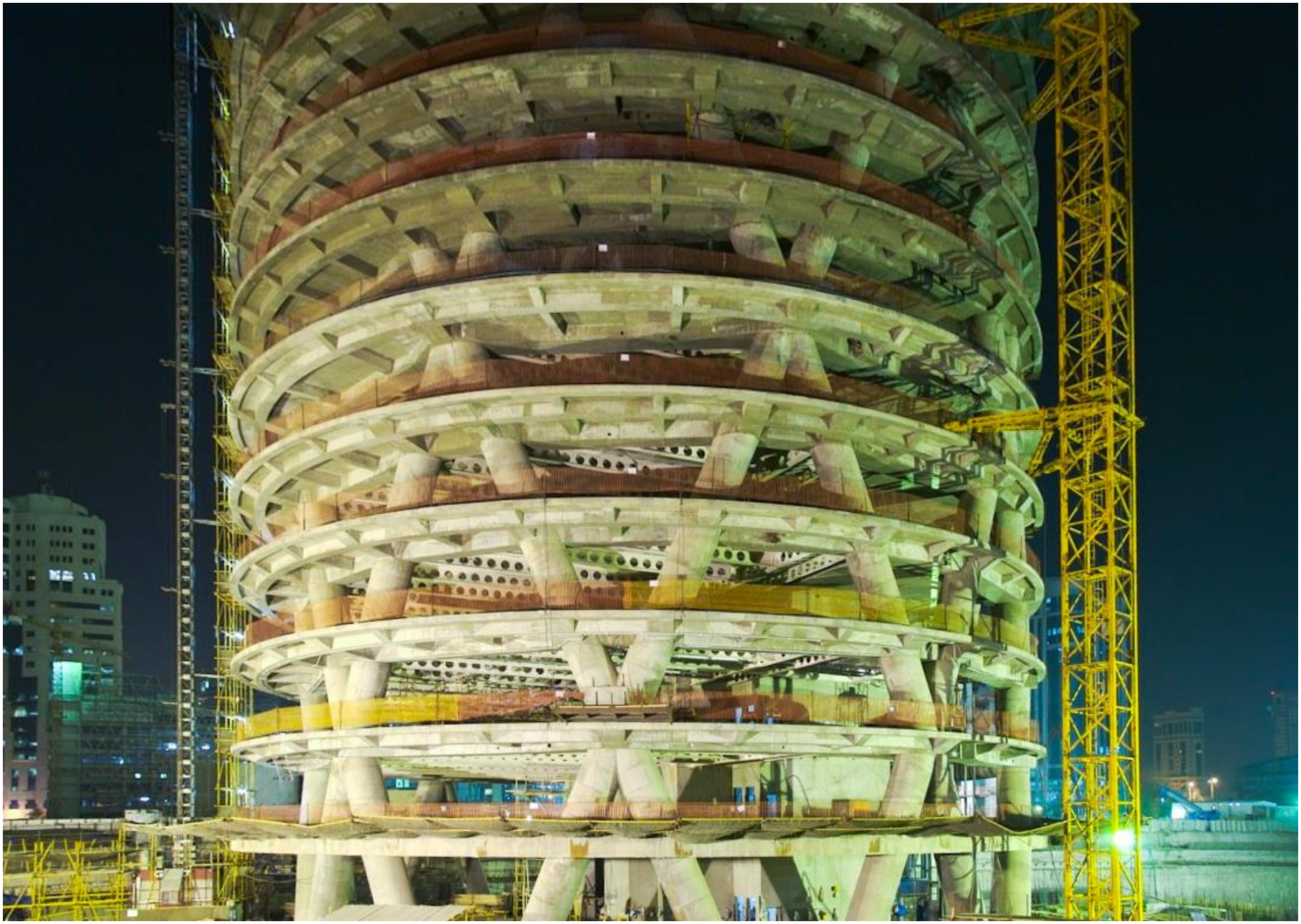
БУРДЖ КАТАР. Доха, Катар.

Высотное здание со ствольно-оболочковой конструктивной системой.

Основными вертикальными несущими конструкциями является монолитное железобетонное ядро жёсткости (смещённое относительно центра здания) и оболочка, выполненная в виде монолитной железобетонной решетки из диагональных стержней.

Диагональная решётка конструкций Бурж Катар снаружи не видна — их скрывает многослойная фасадная система, являющаяся основным элементом в создании архитектурного образа здания и взаимодействии его с окружающим пространством.

Высота здания 231 метр.
Количество этажей - 44.

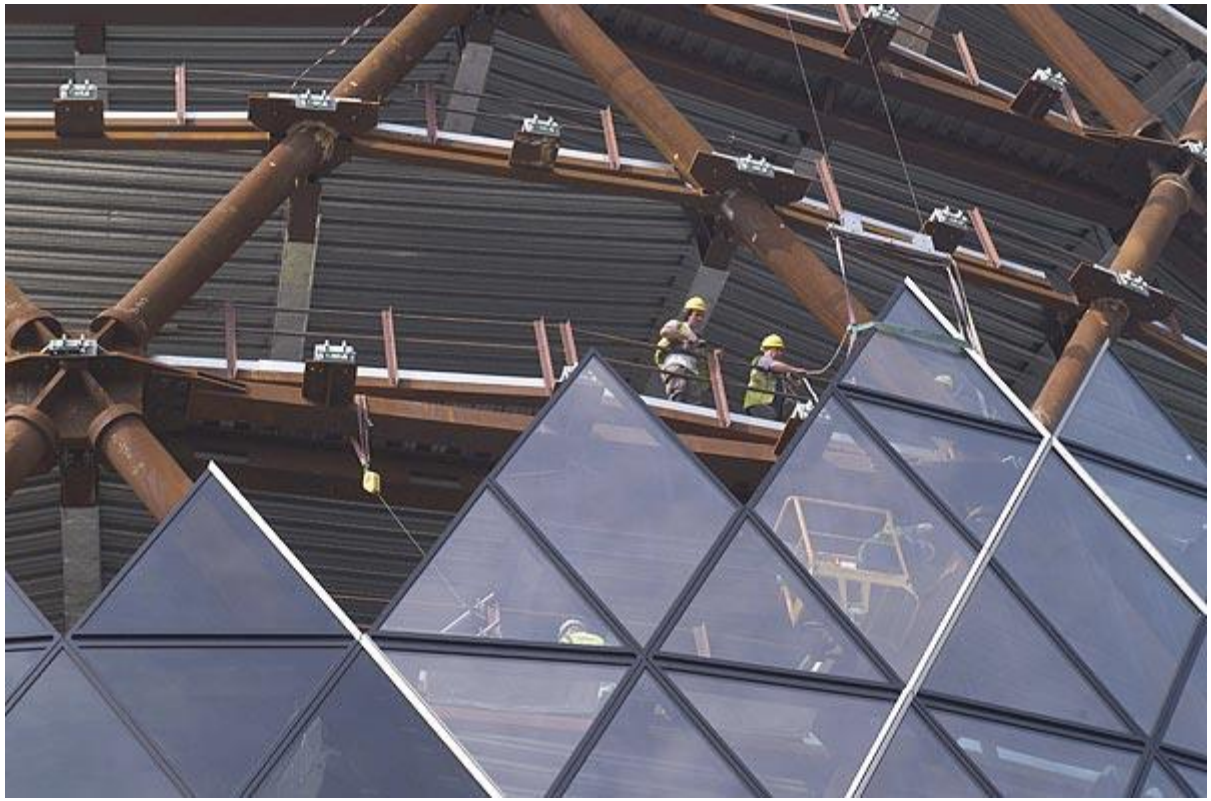


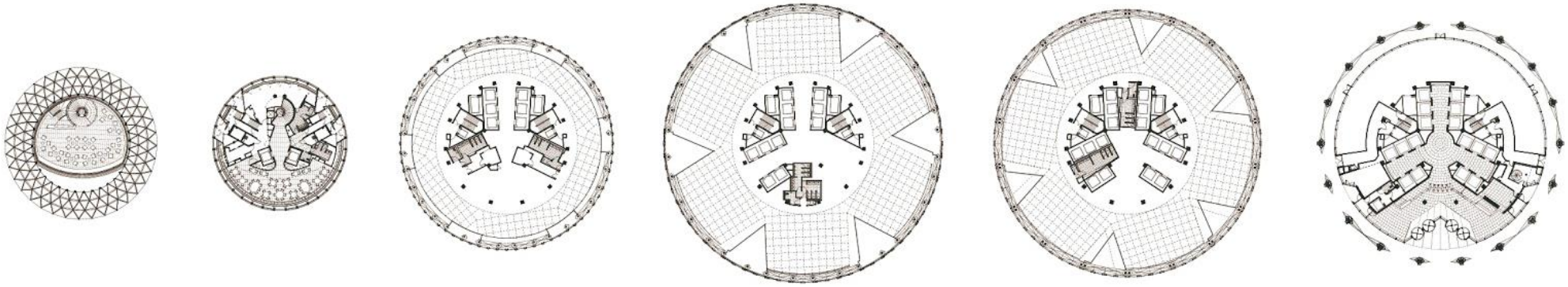
Сент-Мэри Экс 30. Лондон.

Первый этаж здания имеет диаметр 49,3 м, а к семнадцатому этажу здание расширяется до 56,5 м, затем снова начинает сужаться к вершине. Такая форма сооружения соответствует небольшому размеру отведенного для него участка в деловом районе Лондона (всего 0,57 гектара). Аэродинамическая форма постройки значительно снижает ветровое давление на башню.

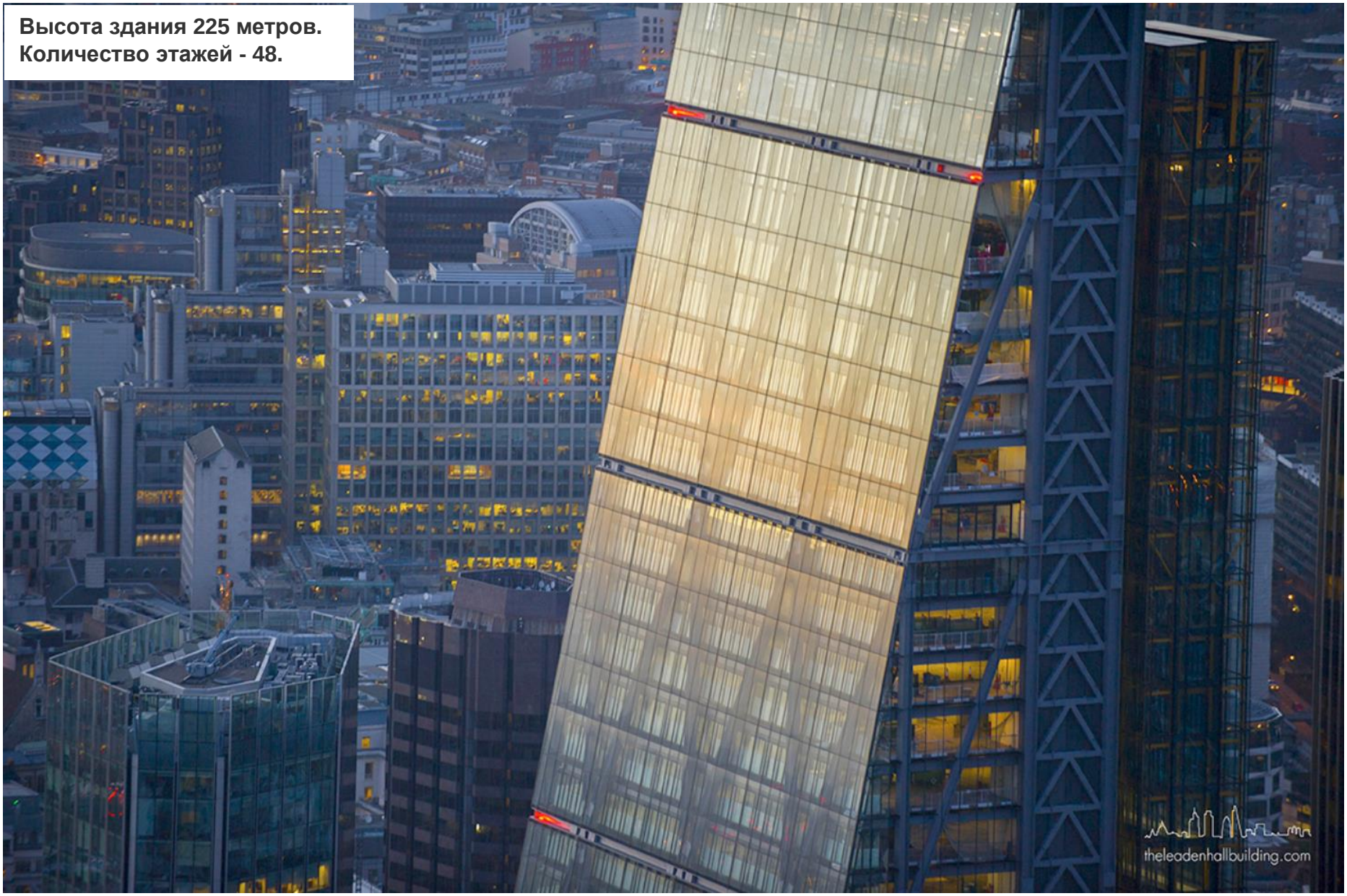
Здание имеет каркасно-ствольную конструктивную систему. Его конструкция состоит из стального ядра жесткости и внешней оболочки из диагональных перекрестных стальных элементов (диагрид). При такой системе внешняя оболочка диагрид воспринимает горизонтальные нагрузки, позволяя ядру работать в основном на вертикальные нагрузки.

Высота здания 180 метров. Количество этажей - 40.

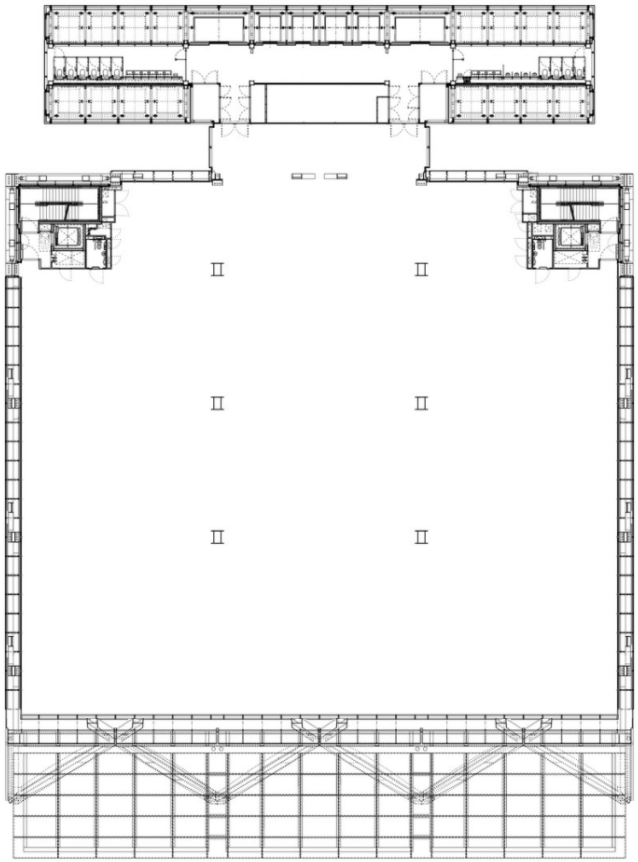


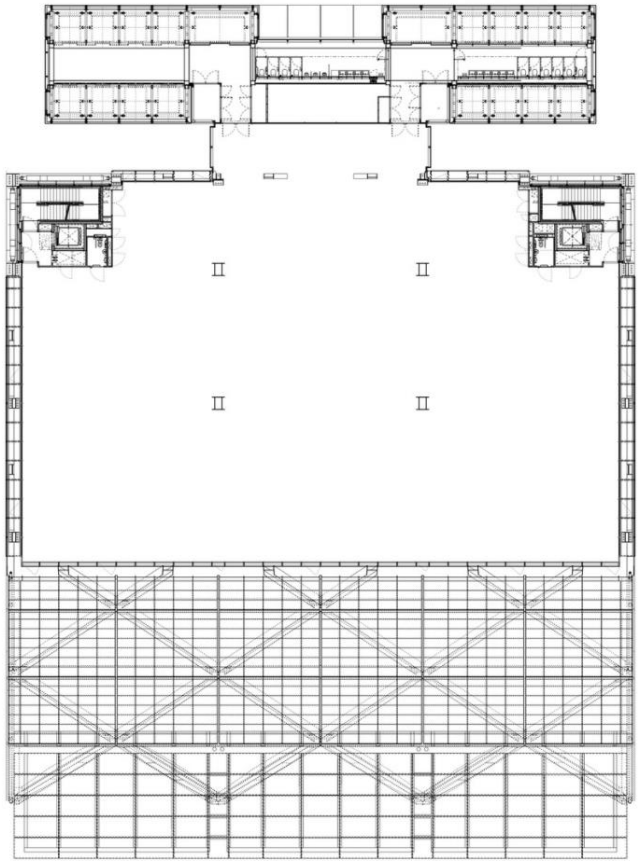


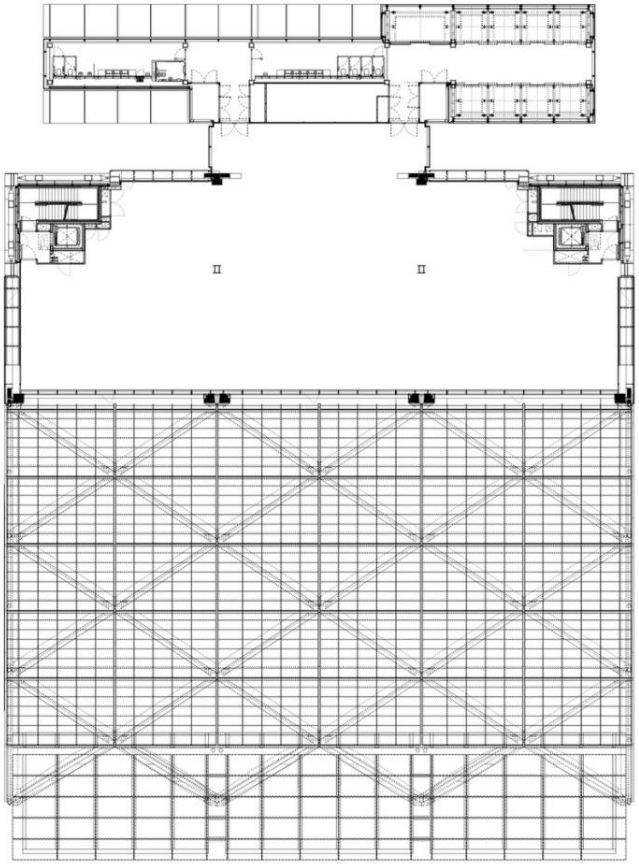
Здание Лиденхолла (The Leadenhall Building). Лондон.



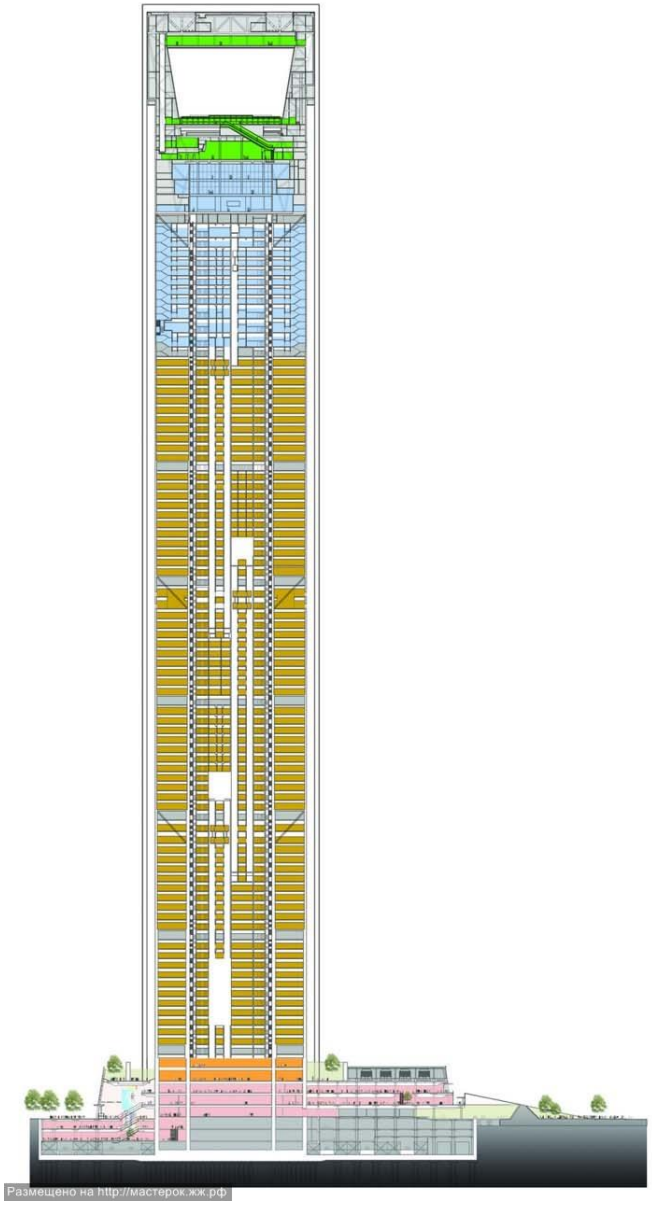
theleadenh





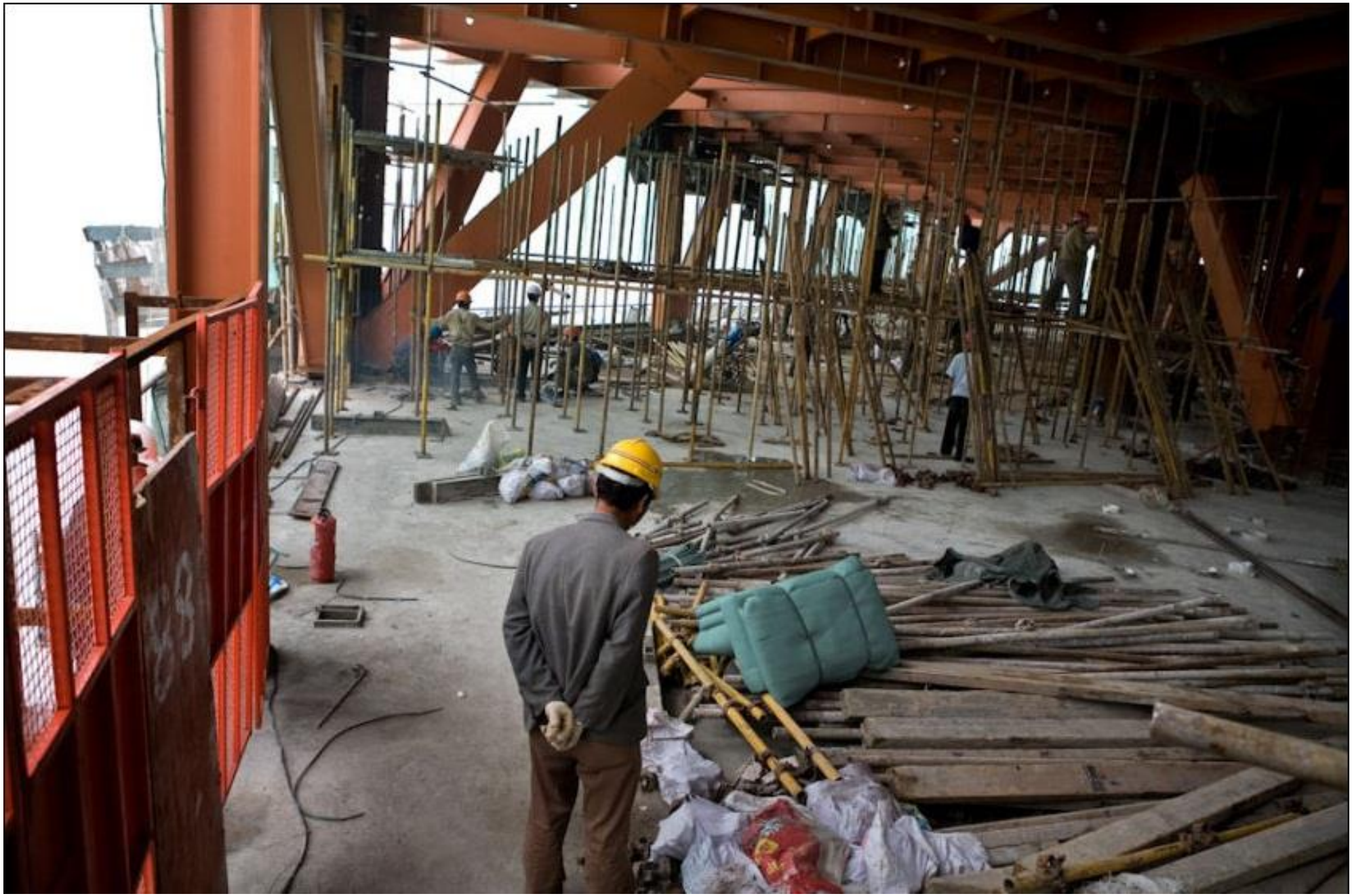


Шанхайский всемирный финансовый центр



Размещено на http://мастерок.жж.рф

SHANGHAI WORLD FINANCIAL CENTER
28.03.2008
e.f.design@live.de



Высота здания 492 метра. Количество этажей - 94.

При строительстве башни был учтён опыт 11 сентября, когда люди, находящиеся на этажах, выше этажа, на котором произошло возгорание, не могли спуститься. В связи с этим было использовано три варианта спасения людей: по защищённым лестницам в середине здания, спуск на лифтах, расположенных по бокам здания, а также защищенные этажи.

Защищенный этаж находится на каждом двенадцатом этаже здания. Он предназначен для укрытия людей от пожара, до прибытия спасателей. Каждый такой этаж имеет собственный усиленный железобетонный каркас, что делит все здание на секции, и повышает его пространственную жёсткость.

Размещено на http://мастерок.жж.рф

Размещено на http://мастерок.жж.рф