

ЛЕДЯЙКИН А. С., УТКИНА В. Н.

ОБЗОР ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

Аннотация. Выполнен обзор зарубежного опыта проектирования высотных зданий. Проведен анализ конструктивных решений небоскребов США и стран Азии. Определены тенденции развития современного высотного строительства.

Ключевые слова: высотное здание, небоскреб, конструктивная система, строительный материал, железобетон, металл.

LEDYAYKIN A. S., UTKINA V. N.

INTERNATIONAL PRACTICES OF HIGH-RISE BUILDINGS DESIGN: A REVIEW

Abstract. The article provides a review of the best international practices of high-rise buildings design. An analysis of constructive decisions of sky-scrapers of the USA and Asian countries is carried out. The tendencies of modern high-rise construction are revealed.

Keywords: high-rise building, sky-scrapers, structural system, building material, reinforced concrete, metal.

Небоскреб является показательным символом современного строительства. Самые высокие здания мира сегодня поражают своим величием и технической новизной.

Возведение высотных зданий началось в конце XIX века в США. Это обусловлено появлением новых технологий и материалов в промышленности и строительстве. Небоскреб «Хоум Иншуранс Билдинг», возведенный в 1885 году в Чикаго после разорительного пожара, был одним из первых высотных зданий и имел всего 10 этажей и высоту 42 метра, позднее были надстроены еще два этажа, и высота здания стала 54,9 метра. Автором проекта является американский архитектор Уильям Ле Барон Дженни. Десятиэтажная высота длительный промежуток времени оставалась максимальной для жилых зданий. Существенным недостатком первых многоэтажных зданий было отсутствие лифтов и электрического освещения. Высотные здания изначально предназначались под офисы, конторы, торговые помещения, банки [1]. Созданное во второй половине XIX века Э. Отисом устройство вертикального перемещения, получившее название «лифт», позволило преодолеть ограниченность высоты жилых зданий [2].

В первых зданиях высотой 10–12 этажей применялась перекрестно-стенная конструктивная схема, в качестве строительного материала использовался кирпич. При возведении в 1891 году в Чикаго 16-этажного кирпичного здания «Монаднок Билдинг» попытка авторов превзойти этажность, применяя традиционную конструктивную систему, привела к увеличению толщины стен первого этажа до двух метров. Была окончательно

доказана бесперспективность использования кирпичных стен в качестве несущей конструкции высотных домов. «Монаднок Билдинг» является первым высотным зданием, оборудованным лифтом и имеющим электроосвещение и телефонную связь.

В 1891 году в строительстве высотных зданий совершается переход на каркасную систему с использованием металла (вначале чугуна, потом стали) для несущих конструкций. Это было следующим этапом развития высотного строительства, который продолжался до 1916 года. Каркасные конструкции имели высокую прочность и дали возможность значительного повышения этажности зданий.

Внешние стены этих зданий были кирпичными, а несущие конструкции состояли из чугунных стоек и балок. Позднее американец Джеймс Богард собирает наружные стены из чугунных деталей, достигая этим гораздо лучшей инсоляции помещений, чем при каменных стенах. Самый значительный шаг в этом направлении сделала Чикагская школа, разработавшая принципы использования стального каркаса как несущей конструкции. Преимущество стали перед чугуном заключается в том, что она хорошо работает не только на сжатие, но и на растяжение.

Переход на стальные прокатные профили в качестве материала несущих конструкций и, соответственно, на клепаные соединения позволил реализовать на практике преимущества каркасной системы. С этого момента началось покорение высоты, так называемая «гонка по вертикали» [1].

В 1931 году было возведено 102-этажное здание высотой 381 метр – «Эмпайр Стейт Билдинг» (Empire State Building) (рис. 1). Здание было построено всего лишь за тринадцать месяцев. В начале 1950-х годов была установлена телевизионная антенна, и его высота составила 448 м. «Эмпайр Стейт Билдинг» сохранял за собой звание самого высокого здания в мире больше 40 лет. В нем была достигнута максимальная несущая способность стального рамного каркаса. Имея внушительные размеры, это здание обладает изящными пропорциями. Верхние этажи размещены тремя ступенями и несколько углублены по отношению к общей линии фасада. Фасад выполнен из серого камня, и по всему фасаду тянутся вертикальные полосы из коррозионностойкой стали [1; 3].

В 1973 году было закончено строительство Башен-близнецов Всемирного торгового центра, каждая по 110 этажей – Северная высотой 526,3 метра (с учетом установленной на крыше антенны) и Южная высотой 415 метров. При проектировании этих зданий была применена новая структурная модель – жесткая «полая труба» из близко расположенных стальных колонн, с фермами этажей, расширяющимися к центральной части. Междуэтажные перекрытия выполнены из гофрированной стали и прочных бетонных плит.



Рис. 1. Эмпайр Стейт Билдинг (381 м, 1931 г.).

Фасады созданы в виде каркасов из стали и монтируемых на них модульных алюминиевых секций. Конструкция такого типа сейсмоустойчива и может противодействовать давлению очень сильного ветра на большой высоте. Фундаменты конструкций ушли под землю на 23 метра. На каркасы зданий израсходовано 200 тысяч тонн стального проката, а кабели электрических сетей протянулись на 3 тысячи миль – половину расстояния от Нью-Йорка до Лондона [4; 5].

В 2009 году в центре Чикаго (Иллинойс, США) был возведен Международный отель Башня Трампа – это современнейший небоскреб высотой 356,6 м (рис. 2). Основным материалом башни является железобетон. Из-за колоссального веса стали еще при проектировании разработчики отказались от ее использования. Применение особого железобетона, прочность которого сравнима с прочностью стали, сделало возможным добавить еще два этажа без увеличения веса конструкции. В результате Башня Трампа стала самым высоким железобетонным зданием в мире.

В здании использовались перекрытия из бетона и нержавеющей стали. Бетон отличался химическим составом и мог без проблем подаваться на высоту 520 м. Для создания каркаса башни было использовано 45 тысяч тонн арматурной стали [6; 7].



Рис. 2. Международный отель Башня Трампа (356,6 м, 2009 г.).

В конце XX века высотное строительство начало интенсивно развиваться благодаря резкому экономическому скачку в странах Юго-Восточной Азии, Индонезии, Южной Кореи и других [8]. Одними из самых высоких объектов стран Азии являются небоскребы «Бурдж-Халифа» в Дубае и «Шанхайская Башня» в Шанхае.

Строительство «Бурдж-Халифа» было завершено в 2010 году. В настоящее время это самое высокое здание в мире (его высота 828 м) (рис. 3). Каркас «Бурдж-Халифа» железобетонный. Для его формирования было использовано 30 тысяч тонн стали и 250 тысяч м³ бетона без учета фундамента. Рекордная высота нагнетания бетонной смеси составила 601 м. Специальный вид высокопрочного бетона обладал также способностью выдерживать высокую температуру, что является необходимым условием в Эмиратах. Каркас здания облачен в высокотехнологичные стены-шторы из стекла и металла. Стены присоединяются к каркасу небоскреба секциями высотой до двух этажей.

Для небоскреба большую опасность представляет сильный ветер. Архитекторы применили оригинальное решение. Секции башни спроектированы так, чтобы отклонять башню в разные стороны. Это разрушает мощь вихрей. Обдувая здание «Бурдж-Халифа», ветер никогда не образует единого потока. Вокруг каждой части здания вихри движутся с различной скоростью [9; 10].



Рис. 3. Бурдж-Халифа (828 м, 2010 г.).

В 2015 году был построен небоскреб «Шанхайская Башня» – символ процветания современного Китая (рис. 4). Его строительная высота 632 метра. По форме Шанхайская башня похожа на немного закрученную пирамиду с кругловатыми гранями и продольным швом – ребром, плавно обвивающим небоскреб от основания до верха башни. Такая форма здания снижает силу ветра на 25%. Ограждающие конструкции здания двойные, в пространстве между ними расположены атриумы. Небоскреб состоит из 9 цилиндрических секций. Они установлены друг на друга и закреплены на монолитном железобетонном сердечнике. Каждая секция представляет собой отдельное сообщество – «город в городе» со своей инфраструктурой и энергообеспечением. Каркас здания включает в себя монолитное ядро из железобетона, четыре пары супер-колонн из сталебетона и четыре диагональных колонны, соединенные спаренными горизонтальными поясами из металлических ферм. Крепление колонн к ядру осуществляется при помощи ферм-аутригеров.

В качестве фундамента здания были использованы буронабивные сваи с железобетонным монолитным плитным ростверком. Это было первое в мире применение буронабивных свай для здания высотой более 400 метров при грунтах основания из мягких

глин и пылеватых песков различной крупности. Перекрытия небоскреба состоят из монолитного железобетона в несъемной опалубке из профилированного листа. Толщина перекрытий 155–220 мм, диаметр 46–82,8 м. Шанхайская башня является самым экологичным небоскребом на земле. 27 ветрогенераторов установлены на верхних этажах. Двойные ограждающие конструкции здания хорошо изолируют от внешней среды и создают отличные условия для энергосбережения [11; 12].



Рис. 4. Шанхайская Башня (632 м, 2015 г.).

На основе проанализированного материала можно выделить следующие тенденции развития высотного строительства: архитектурная необычность; экологичность проектов; увеличение размеров сооружений; расширение и совершенствование технических возможностей; использование энергоэффективных технологий; формирование пространственных мультиструктур с функциональной и энергетической автономностью; использование принципиально новых строительных материалов; применение прогрессивных конструктивных и архитектурных решений; обеспечение комфортных условий в помещениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Генералов В. П. Особенности проектирования высотных зданий: учеб. пособие / Самарск. гос. арх.-строит. ун-т. – Самара, 2009. – 296 с.
2. Лифт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Лифт>.
3. Современное высотное строительство. Монография. – М.: ГУП «ИТЦ Москомархитектуры», 2007. – 440 с.
4. Великие шедевры архитектуры. 100 зданий, которые восхитили мир. Всемирный торговый центр Нью-Йорк [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://culture.wikireading.ru/53886>.
5. Всемирный торговый центр [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Всемирный_торговый_центр.
6. Trump International Hotel and Tower [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://krutoy-dom.ru/trump_international_hotel_and_tower/.
7. Международная гостиница и башня Трампа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Международная_гостиница_и_башня_Трампа_\(Чикаго\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Международная_гостиница_и_башня_Трампа_(Чикаго)).
8. Маклакова Т. Г., Сенин Н. И. Архитектурно-конструктивные и градостроительные проблемы проектирования высотных зданий: научно-образовательный материал / Московск. гос. строит. ун-т. – Москва, 2009. – 28 с.
9. Бурдж-Халифа. На рекордной высоте высоких технологий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://zvt.abok.ru/articles/183/Burdzh_Halifa_Na_rekordnoi_visote_visokih_tehnologii.
10. Бурдж-Халифа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Бурдж_Халифа.
11. Шанхайская башня [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://monolitpro.info/shedevry-monolita/shanhajskaia-bashnya>.
12. Шанхайская башня [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Шанхайская_башня.