

УДК 721.011.25:624.014

## ІСТОРИЯ РОЗВИТКУ ВИСОТНОГО БУДІВНИЦТВА З МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ВИСОТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ИЗ  
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

HISTORY OF EVOLUTION OF HIGH-RISE CONSTRUCTION OF  
METAL STRUCTURES

*д.т.н., проф. Югов А.М. (Донбаська національна академія будівництва і архітектури)*

*Тимошко А.О. (Донбаська національна академія будівництва і архітектури)*

*д.т.н., проф. Югов А.М. (Донбасская национальная академия строительства и архитектуры)*

*Тимошко А.А. (Донбасская национальная академия строительства и архитектуры)*

*Dr.Sc., Professor Yugov A. (Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture)*

*Tymoshko A. (Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture)*

У статті виконаний історичний огляд розвитку висотного будівництва з початку XIX століття і до наших часів. При цьому розглядалося саме металобудівництво, тобто будівлі, які мають в своїй конструкції металевий (сталевий або чавунний) каркас. Виявлені причини стрімкого розвитку будівництва з металевих конструкцій, приведені основні відкриття і розробки, що привели до можливості широкого використання металу в промисловому і цивільному будівництві. Проведено історичний аналіз ряду висотних будівель з металевим каркасом з точки зору зміни висотності будівель в історії у зв'язку з досягненнями технічного прогресу. Виконано упорядкування цих будівель за зростанням висоти в хронологічній послідовності. На підставі проведеного аналізу складена діаграма, що відображає динаміку збільшення висоти будівель з часом.

**історичний огляд, висотне будівництво, металевий каркас, висота**

В статье выполнен исторический обзор развития высотного строительства с начала XIX века и до наших дней. При этом рассматривалось именно металлостроительство, т.е. здания, имеющие в своей конструкции металлический (стальной или чугунный) каркас. Выявлены причины стремительного развития строительства из металлических конструкций, описаны основные открытия и разработки, которые привели к возможности широкого использования металла в промышленном и гражданском строительстве. Проведен исторический анализ ряда высотных зданий с металлическим каркасом с точки зрения изменения высотности зданий в истории в связи с достижениями технического прогресса. Выполнено упорядочивание этих зданий по возрастанию высоты в хронологической последовательности. На основании проведенного анализа составлена диаграмма, отражающая динамику увеличения высоты зданий со временем.

**исторический обзор, высотное строительство, металлический каркас, высота**

The historical overview of the evolution of high-rise construction from the beginning of the nineteenth century to the present day was performed in this article. Metal engineering was considered, i.e. buildings, having in their construction metal (steel or cast iron) frame. The causes of the rapid development of the construction of metal structures was identified, the main discoveries and developments that led to the possibility of widespread use of metal in industrial and civil engineering was presented in this paper also. Historical analysis of a number of high-rise buildings with metal frames in terms of change of building height in the history due to achievements of technical progress was carried out. The ordering of these buildings in ascending of their height in chronological order was made. A chart that compiled on the basis of this analysis reflects the dynamics of increasing the height of buildings with time.

**historical overview, high-rise construction, metal frame, height**

В усіх країнах з давніх часів необхідність зведення багатопверхових будівель обумовлювалася зростанням населення міст, в подальшому – дефіцитом землі під забудову, а також необхідністю раціонального використання ресурсів.

Аналіз праць Ф. Харта [1, 9-39], В. Шуллера [2, 9-10], Е. Кодиша і М. Трекина [3, 6-10], Ю. Козака [4, 8-20], а також джерел [5, 6, 7] дозволив скласти короткий історичний огляд розвитку висотного будівництва з металевих конструкцій.

Передусім треба сказати, що історія зведення багатоповерхових споруд починається десь у 1-2 тисячолітті до н.е. Тоді, у час постійних війн, люди повинні були вигадувати все більш укріплені та високі будинки через те, що площа проживання була досить мала. Але у даній роботі розглядаються будівлі з металевим каркасом, історія яких починається у XIX столітті, у вік стрімкого розвитку сміливих інженерних ідей.

Після того, як Абрахам Дербі у 1720 році виплавляє чавун в доменній печі на коксі замість деревини, він починає активно застосовуватися у будівництві. Перші кроки до формування чавунного каркасу зробили французи на початку XIX століття. У 1801р. у Салфордї за проектом Боултона і Уатта була збудована 7-поверхова будівля для фірми «Філіп та Лі». Цю будівлю прийнято вважати першою у світі багатоповерховою будівлею з повністю металевим каркасом. Але будівлі з чавунним каркасом зводилися не тільки у Франції. Наприклад, у Нью-Йорку в районі Сохо збереглися до сьогодні старі будинки із чавунним каркасом середини XIX ст. Завдяки застосуванню каркасної системи та нового матеріалу стало можливим збільшити висоту будівель та робити більш великі приміщення з великими вільними прогінами. Окрім винаходу нового матеріалу, стрімкому розвитку каркасного будівництва сприяв також розвиток теорій розрахунку будівель і споруд. У XVII ст. в Європі створюється диференційне та інтегральне числення, відкривається закон Гука – все це призводить до виникнення вдосконалених методик розрахунку конструкцій та поширення металу у будівництві.

У другій половині XIX ст. було сформульовано основні положення опору матеріалів та теорії пружності. Це дало змогу створити методику розрахунку багатоярусних рам, методику динамічних розрахунків та інші. Крім того, у 1855 р. Генрі Бессемер винайшов конвертор, а у 1864 році фірма «Сіменс» ввела у дію мартенівські печі. Це, у поєднанні із новими методиками розрахунку, сприяло початку масового застосування сталі у будівництві. Першим каркасним будинком зі сталевим каркасом прийнято вважати фабричну будівлю «Сольє» в Нуазье-на-Марні, яку було зведено у 1872 році Жюлем Сольє.

У 80-х роках XIX ст. архітектор Вільям ле Барон Дженні допомагає відновити місто Чикаго від пожеж 70-х років та вдосконалює сталеву каркасну систему. Цегла, яка широко використовувалася в США у ті роки, мала один великий недолік – чим вище будівля, тим товще повинна бути кладка стін. А місту, що відновлюється, потрібна була велика кількість житлових і офісних

приміщень, якими могли забезпечити тільки високі будівлі. Тому Вільям Дженні вирішує використати сталь та у 1883 році будує 10-ти поверховий «Хоум Іншуренс Білдінг» (рис.1.1, а), висотою 55 метрів, який прийнято вважати першим хмарочосом. Ця будівля мала несучий сталевий каркас та самонесучі цегляні стіни, що стало можливим за рахунок використання Г-подібних прокатних балок та забезпечення високого рівня пожежної безпеки.

Наступний розвиток каркасних систем був націлений переважно на розробку нових конструктивних форм каркасів, поліпшення властивостей матеріалів та підвищення поверховості будівлі. Наприклад, розроблена наприкінці ХІХ ст. технологія зварювання металу суттєво прискорила розвиток висотного будівництва. Окрім цього, зростаючий дефіцит землі під забудову у великих містах змушував людей постійно збільшувати висоту будівель для отримання необхідної кількості житлової та офісної площі. Тому вже у кінці ХІХ – на початку ХХ століття в США з'являються «висотні» будинки, які іноді називають хмарочосами. Вивчення матеріалів джерел [6, 8, 9, 10] дозволило зробити огляд історії розвитку будівель з металевим каркасом за висотою.

До перших висотних будівель, наприклад, відноситься 21-поверхова будівля «Кепітел Білдінг», що пізніше набула назву «Масонік Темпл» (рис.1.1, б). Вона була спроектована архітекторами Бернхемом і Руттом у Чикаго у 1892 році та мала висоту 92 метри. До речі ця будівля була найвищою будівлею у світі до 1899 року. Вперше до конструкції каркасу було включено вертикальні діафрагми, які працювали на зсув та чинили опір вітровому навантаженню, що збільшується зі збільшенням висоти будівлі. Винахід сталевих діафрагм та вдосконалення його конструктивних форм дали старт гонці «за право називатися найвищим будинком у світі». Зовнішні стіни перестали бути несучими, що дало можливість архітекторам здійснювати свої красиві і оригінальні ідеї, що призвело до справжнього «буму» висотного будівництва. У ХХ сторіччі гонка висот відбувалася переважно лише на території США.



а



б

Рис.1.1. Висотні будівлі XIX сторіччя:  
а – «Хоум Іншуренс Білдінг»; б – будівля «Масонік Темпл»  
(фотографії запозичені з сайту [www.ru.wikipedia.org](http://www.ru.wikipedia.org))

Вже на початку XX сторіччя лідерство у зведенні хмарочосів перейшло до Нью-Йорка. У 1899 році архітектор Роберт Робертсон будує 30-поверховий «Парк Роу Білдінг» (рис.1.2, а), висотою 119 м, з металевим каркасом. На той момент він стає найвищою будівлею у світі, але вже у 1908 році архітектором Ернестом Флеггом у Нью-Йорку було збудовано «Зінгер-білдінг» (рис.1.2, б), який мав 47 поверхів та висоту 186 м. Нажаль, ця будівля не дожила до наших часів, оскільки у 1968 році вона була знесена компанією United States Steel в рамках розчищення ділянки під нове будівництво. Але найвищою будівлею світу вона була лише рік.

У 1909 році у Нью-Йорку закінчується зведення 50-поверхового офісного «Мет Лайф Тауер» (рис.1.2, в). Архітектором цієї будівлі є компанія «Napoleon LeBrun & Sons», висота будівлі – 213 метрів, вона була найвищою будівлею у світі з 1909 по 1913 рік. У своїй конструкції «Мет Лайф Тауер» має жорстку сталеву раму, яка зовні оздоблена вапняковим каменем.

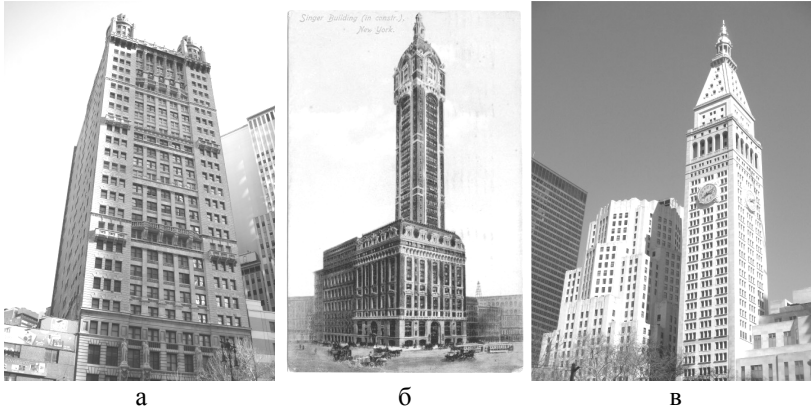


Рис.1.2. Висотні будівлі періоду 1899-1909 років:  
 а – «Парк Роу Білдинг»; б – «Зінгер-білдинг»; в – «Мет Лайф Тауер»  
 (фотографії запозичені з сайту [www. ru.wikipedia.org](http://www.ru.wikipedia.org))

За 4 роки, у 1913, на Манхеттені архітектором Кассом Гілбертом було збудовано хмарочос «Вулворт-білдинг» (рис.1.3, а), який мав висоту 241 метр (57 поверхів) та перевершив «Мет Лайф Тауер» на 28 метрів, що дало йому можливість стати найвищою будівлею в світі. Свою назву «Вулворт-білдинг» отримав від назви компанії «F. W. Woolworth Company», для якої його було збудовано в якості штаб-квартири. Інженерами будівлі були Гунвальд Аус та Корт Берле. Вони спроектували жорстку сталеву раму, що підтримується на масивних кесонах, що проходять до самої основи будівлі. Ззовні будівля оздоблена теракотовими вапняковими панелями. При проектуванні будівлі Касс Гілберт бажав включити до сучасної ідеї хмарочоса шматочки готичного стилю. В результаті з'явився так званий «неоготичний» стиль з горгульями, арками та контрфорсами.

При розвитку висотного будівництва зазнавали змін не тільки конструкції та висоти будівель, а й положення їх розрахунку. Як стверджує В. Озорніна у [11], до 1916 року вже були підведені перші підсумки нового будівництва, тому були сформульовані перші будівельні норми, що включали до себе оптимальні відстані між будівлями, норми щодо інсоляції, безпеки та ін. Також було визначено оптимальну форму хмарочоса: ступінчасту, з поступовим убунням об'єму будівлі з підвищенням висоти. Як стверджує автор, к початку 20-х років у Нью-Йорку було збудовано 15 хмарочосів, висота 12 з яких перевищувала 200 м.

Але наступна найвища у світі будівля з'явилася лише у 1930-му році. Це був хмарочос Крґа Северанса «Уолл Стріт 40» (рис.1.3, б) висотою 282 метри (70 поверхів), тобто на 41 метр вище за «Вулворт-білдінг». Що цікаво, будівництво «Уолл Стріт 40» тривало лише 11 місяців. Також ця будівля відома під назвою «Трамп-білдінг» («The Trump Building») тому, що у 1996 році хмарочос купила компанія Дональда Трампа. Але і ця будівля не змогла довго втриматися на посаді найвищої у світі, тому, що вже через кілька місяців того ж 1930 року закінчилося зведення «Крайслер-білдінг» (рис.1.3, в). За задумом творців «Уолл Стріт 40» будівля Крайслера повинна була бути на 0,5 метри нижче за їх творіння, але архітектор Вільям Ван Ален таємно змінив висоту «Крайслер-білдінг», передбачивши на даху шпиль висотою 38 метрів. Тому «Крайслер-білдінг» став наступною найвищою будівлею у світі з висотою 319 метрів у 77 поверхах. Але і ця будівля не встояла перед стрімким розвитком будівництва тих років та була найвищою лише один рік, до завершення «Емпайр Стейт Білдінг» у 1931.



Рис.1.3. Висотні будівлі періоду 1913-1930 років:

а – «Вулворт-Білдінг»; б – «Уолл Стріт 40»; в – «Крайслер-білдінг»  
(фотографії запозичені з сайту [www.ru.wikipedia.org](http://www.ru.wikipedia.org))

«Емпайр Стейт Білдінг» (рис.1.4, а) було зведено у 1931 році компанією «Shreve, Lamb & Harmon Associates» на острові Манхеттен, Нью-Йорк. Висота даху будівлі становить 381 метр, що на 62 метри вище, ніж висота «Крайслер-білдінг» разом із шпилем. «Емпайр Стейт Білдінг» є першою у світі висоткою, яка сягнула відмітки у 100 поверхів. Через 20 років на даху була встановлена телевізійна антена, яка підвищила загальну висоту будівлі до 443 метрів. За різними джерелами зведення «Емпайр Стейт Білдінг» тривало від 14 до 18

місяців, а на металевий каркас було витрачено більш 60000 тонн сталі. До речі свою назву будівля отримала від американського штату Нью-Йорк, який ще називають «імперський штат» («Empire State»), тому буквально назву будівлі можна перекласти як: «Будинок Імперського Штату». Для США ця будівля була проявом прогресу, розвитку суспільства та перемоги людини над природними обмеженнями. Будівельники тих часів намагалися спрямувати усі свої можливості на зведення найвищої будівлі у світі, і це їм вдалося. «Емпайр Стейт Білдінг» понад 40 років займав посаду найвищої будівлі у світі.

Методики розрахунку конструкцій будівель теж не стояли на місці. У ХХ столітті для розрахунку конструкцій був розроблений метод граничних станів, яким до речі з 1955 року розраховуються усі сучасні будівельні конструкції.

Близько 41 року світ не бачив нового найвищого будинку, аж як у 1972 році завершується зведення Всесвітнього торгового центру у Нью-Йорку за проектом японця Мінору Ямасакі (рис.1.4, б). Як пише В. Озорніна у своїй праці [11], в останній чверті ХХ століття на США працювало багато іноземних архітекторів. Всесвітній торговий центр являв собою комплекс із семи будівель на чолі з двома «вежами-близнюками», кожна з яких мала 110 поверхів. При цьому північна башта мала висоту 417 метрів, а південна – 415 м. Тому саме північна башта стала новою найвищою будівлею у світі. Конструктивною схемою «веж-близнюків» була оболонкова система, в якій усі несучі конструкції рами виносяться назовні будівлі і стають так би мовити «зовнішньою стіною». «Вежи-близнюки» були першими надвисотними будівлями, спроектованими без цегляної кладки. Нажаль, ці витвори сучасної архітектури були зруйновані в результаті терористичного акту 11 вересня 2001 року.

Але свій статус найвищої у світі вежа втратила ще раніше, у 1974 році, коли у Чикаго було зведено 110-поверхову будівлю «Сірс-Тауер» з висотою даху 443 метри (рис.1.4, в). Розробкою проекту займалася компанія «Skidmore, Owings & Merrill LLP». Але таку назву будівля мала лише до 2009 року, зараз вона називається «Уїлліс-Тауер». Конструктивна система будівлі є досить стандартною для хмарочосів та являє собою дев'ять квадратних труб, які зі збільшенням висоти будівлі поступово обриваються, тому верхівку будівлі утворюють лише дві з дев'яти труб. Така конструктивна система є найкращою для висотних будівель, оскільки їх розрахунковою схемою є консольно закріплений у основі стрижень. При цьому кожна труба системи являє собою оболонку із винесеними назовні металевими конструкціями.





Рис.1.4. Висотні будівлі періоду 1931-1974 років:

а – «Емпайр Стейт Білдінг»; б – будівлі Всесвітнього торгового центру у Нью-Йорку; в – «Уїлліс-Тауер» (фотографії запозичені з сайту [www.ru.wikipedia.org](http://www.ru.wikipedia.org))

Після закінчення у 2004 році будівництва будівлі «Тайбей 101» (рис.1.5, а) у місті Тайбей, «Уїлліс-Тауер» поступився своїм званням найвищою у світі. Будівля «Тайбей 101» була спроектована компанією «С.У. Lee & Partners» та сягала висоти даху 449 м, що усього на 6 метрів більше, ніж у «Уїлліс-Тауер». При цьому вежа «Тайбей 101» має меншу кількість поверхів – 101, але при цьому має 5 підземних поверхів. Конструктивна система будівлі – комбінована. Будівля спирається на 36 колон, 8 з яких – бетонні. Кожні 8 поверхів ферми з'єднують колони в ядрі будівлі із зовнішньою оболонкою. Але головною особливістю цієї будівлі є величезний 660-тонний сталевий шар-маятник, підвішений між 88 та 92 поверхом. При сильних поривах вітру цей маятник коливається, компенсуючи коливання самої будівлі. «Тайбей 101» був найвищою будівлею у світі в період від 2004 до 2008 року. На даний момент він є п'ятою у світі будівлею за висотою.

У 2008 році естафету висот прийняв Шанхайський всесвітній фінансовий центр (рис.1.5, б) висотою 492 метри у 101 поверсі. Головний дизайнер проекту – Девід Малотт з нью-йоркської компанії «Kohn Pedersen Fox». Будівля має «вікно» на вершині, воно влаштовано для зменшення тиску повітря на будівлю. Цікаво, що спочатку планувалося «вікно» круглої форми, але через його подібність до сонця на прапорі Японії, його форму змінили на трапецієподібну. Шанхайський всесвітній фінансовий центр був найвищою будівлею у світі рівно 2 роки.

У січні 2010 року завершується будівництво «Бурдж Халіфа» - апогею сучасного будівництва (рис. 1.5, в). Він являє собою 163-поверхову будівлю висотою 828 метрів, збудовану у найбільшому місті Об'єднаних Арабських Еміратів – Дубай. З 2010 року та до сьогодні це найвища будівля у світі. Як і «Уїлліс-Тауер», «Бурдж Халіфа» має «трубчасту» конструктивну схему, тобто частини будівлі обриваються при збільшенні висоти, що сприяє правильній роботі конструкцій. Крім того, «Бурдж Халіфа» має комбіновану конструктивну систему, тобто до відмітки 620 метрів вона складається з залізобетонного каркасу, а вище – з металевого. Це зроблено для зменшення загальної маси будівлі та зниження центру мас будівлі якомога нижче до землі. Крім того, в цій будівлі було запроваджено інші новітні розробки, наприклад, тоновані скляні термопанелі, що зменшують нагрівання внутрішніх приміщень. Будівля «Бурдж Халіфа» може бути прикладом необмеженості людських можливостей.

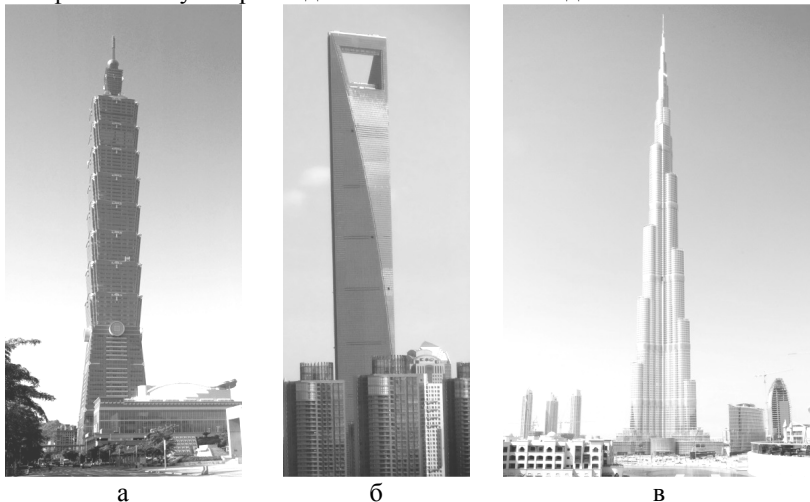


Рис.1.5. Висотні будівлі «новітнього» часу:

а – «Тайбей 101»; б – Шанхайський всесвітній фінансовий центр; в – «Бурдж Халіфа» (фотографії запозичені з сайту [www. ru.wikipedia.org](http://www.ru.wikipedia.org))

Ще ніхто не перевершив будівлю «Бурдж Халіфа» за висотою, але на даний момент є спроби та бажання це зробити, наприклад, за деякими джерелами, у Саудівській Аравії закладено зведення будівлі «Kingdom Tower» можливою висотою 1007 м, в Кувейті планується зведення «Madinat al-Nareer» висотою 1001 м, а в Бахреїні планують

зводити «Munja Tower» висотою 1022 м. Це свідчить про те, що немає межі людським можливостям у будівництві.

При цьому сталева каркасна система і досі використовується при проектуванні висотних будівель, на даний момент розроблено багато нових конструктивних схем багатоповерхових каркасів, які дозволяють зводити будівлі практично будь-якої висоти.

Користуючись матеріалами цього огляду, можна скласти діаграму збільшення висоти будівель, що мають металевий каркас, з часом (рис.1.6):

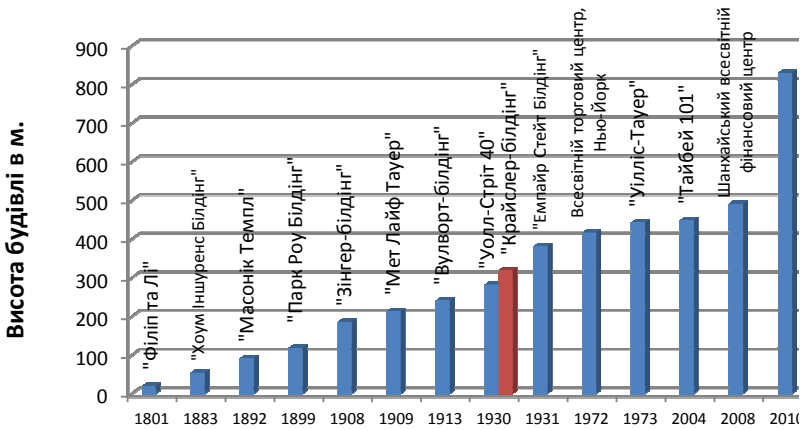


Рис.1.6. Динаміка збільшення висоти будівель з часом

**Висновок.** У зв'язку з постійним зростанням вартості землі під забудову у великих містах зростає також і висотність будівель, зокрема тих, що зводяться у центральних частинах міст. Крім того, технічний прогрес, тобто розробка нових матеріалів більш високої міцності, вдосконалення конструктивних схем будівель, методів їх зведення та розрахунку, створює нові технічні можливості для зведення будівель все більшої висоти. При цьому економічна необхідність зведення висотних будівель безпосередньо впливає на технічний прогрес, змушуючи людей здійснювати нові розробки у будівельній сфері, що в кінцевому підсумку призводить до появи нових висотних будівель. Зі складеної діаграми (рис.1.6) видно, що висота сучасних будівель у сотні разів відрізняється від висоти перших будівель з металевим каркасом, що безсумнівно підтверджує бажання людей підкорювати нові висоти.

*Список литературы:*

1. Харт Ф. Атлас стальных конструкций. Многоэтажные здания / Ф. Харт, В. Хенн, Х. Зонтаг ; пер. с нем. Л. В. Руфа и Е. К. Гриневой ; под ред. Л. В. Руфа, Т. Н. Морачевского и О. М. Попковой. – М. : Стройиздат, 1977. – 351 с.
2. Шуллер В. Конструкции высотных зданий / В. Шуллер ; пер. с англ. Л. Ш. Килимника ; под ред. Г. А. Казиной. – М. : Стройиздат, 1979. – 248 с.
3. Кодыш Э. Н. Проектирование многоэтажных зданий с железобетонным каркасом : [монография] / Э. Н. Кодыш, Н. Н. Трекин, И. К. Никитин. – М. : Издательство АСВ, 2009. – 352 с. – ISBN 978-5-93093-679-7.
4. Козак Ю. Конструкции высотных зданий : [монография] / Ю. Козак ; пер. с чеш. Г. А. Казиной ; под ред. Ю. А. Дыховичного. – М. : Стройиздат, 1986. – 308 с. : ил.
5. Современное высотное строительство : [монография] / [глав. ред. Щукина М. Н. ; авт. текста Айрапетов А. Б., Абрамов А.М. и др.]. – М. : ГУП «ИТЦ Москомархитектуры», 2007. – 440 с. : ил.
6. Небоскрёб [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Небоскрёб> (Дата обращения 27.03.2014). – Название с экрана.
7. Изобретение стального каркаса зданий [Электронный ресурс] : статья из цикла «История небоскребов». – Режим доступа к статье: <http://interesnik.com/izobretenie-stalnogo-karkasa-zdaniy/> (Дата опубликования 05.02.2013 ; дата обращения 27.03.2014). – Название с экрана.
8. The world's tallest buildings [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.emporis.com/statistics/worlds-tallest-buildings> (Дата обращения 27.03.2014). – Название с экрана.
9. Waldman B. World's tallest buildings: New York City Edition [Электронный ресурс] / Benjamin Waldman. – Режим доступа к статье: <http://untappedcities.com/2012/01/03/worlds-tallest-buildings-new-york-city-edition/> (Дата опубликования 01.03.12 ; дата обращения 27.03.14). – Название с экрана.
10. Мартодеев Е. История высотного строительства [Электронный ресурс] / Евгений Мартодеев. – Режим доступа к статье: <http://arch-proect.com/vusotnoe-stroitelystvo.php> (Дата опубликования 12.01.2013 ; дата обращения 27.03.2014). – Название с экрана.
11. Озорнина В. Небесное строительство / Валентина Озорнина // Мегаполис. Все о недвижимости / гл. ред. Валентина Вадимовна Орнат. – 2014. – № 1-2 (13-14). – С. 60-65.