

УДК 69.032.22

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМ КАРКАСНЫХ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ



FEATURES OF STRUCTURAL SCHEMES OF FRAME HIGH-RISE BUILDINGS

Сылка Дарья Владимировна

студент,
Кубанский государственный технологический университет
dsylka@bk.ru

Ковалёва Илона Владимировна

студент,
Кубанский государственный технологический университет
kovalevaanoli@gmail.com

Злая Дарья Геннадиевна

студент,
Кубанский государственный технологический университет
daria.zlaya00@mail.ru

Аннотация. В данной статье рассматриваются и анализируются наиболее важные отличительные особенности каркасных зданий высотного типа, которые оказывают значительное влияние на выбор конструктивных схем для строительства. Так же рассматривается влияние выбранной конструктивной схемы здания на объёмно-планировочное решение зданий и сооружений. Приводится обоснование выбора самых оптимальных решений конструктивной схемы здания, которое основывается на функциональном назначении технико-экономическом сравнении подобных схем и диапазоне высот здания.

Ключевые слова: высотные здания и сооружения, здания высотного типа, конструктивные схемы, каркасные схемы высотных зданий и сооружений.

Sylka Daria Vladimirovna

Student,
Kuban State Technological University
dsylka@bk.ru

Kovaleva Ilona Vladimirovna

Student,
Kuban State Technological University
kovalevaanoli@gmail.com

Zlaya Daria Gennadiievna

Student,
Kuban State Technological University
daria.zlaya00@mail.ru

Annotation. This article discusses and analyzes the most important distinctive features of high-rise frame buildings, which have a significant impact on the choice of structural schemes for construction. The influence of the selected structural scheme of the building on the space-planning solution of buildings and structures is also considered. The rationale for choosing the most optimal solutions for the structural scheme of the building is given, which is based on the functional purpose of the technical and economic comparison of similar schemes and the range of building heights.

Keywords: high-rise buildings and structures, high-rise buildings, structural schemes, frame schemes of high-rise buildings and structures.

Все высотные здания имеют свою специфику, которая отличает их от обычных зданий и сооружений, также она существенно влияет на конструктивные схемы и конструкции, которые применяются в строительстве таких зданий.

По мере того, как увеличивается высота здания, возрастают и горизонтальные нагрузки, влияние которых увеличивается в нарастающей степени. На некоторой высоте горизонтальный прогиб становится очень большим, что требования жесткости несущих конструкций становятся решающими в расчётах. Конструктивная схема здания в первую очередь влияет на величину жесткости. Также эффективность той или иной системы зависит от того, какой объём материалов несущих конструкций используется в проекте. Оптимальным решением для здания, имеющего определённые требования к объёмно-планировочному решению, является достижение минимального веса при максимальной жесткости [2].

Для снижения ветровых воздействий инженеры-проектировщики нередко эффективные в аэродинамическом отношении объёмные здания – цилиндрическую, у которой план выполнен в форме круга или эллипса, в качестве примера можно взять небоскрёб «Мэри-Экс» в Лондоне (рис. 1). Также используются призматические и пирамидальные формы зданий и сооружений, план которых выполнен в виде квадрата или прямоугольника со скруглёнными углами. Примером является здание «Джон Хэн-

кок», расположенное в Чикаго и имеющее форму усечённой пирамиды (рис. 2). Для увеличения устойчивости зданий и сооружений прибегают к расширению их сечений к основанию в двух или одном направлениях [1].

Такие факторы, как солнечная радиация, вибрации, аварии, шумы, сейсмические воздействия, аэродинамика, пожары, безопасность эксплуатации, террористические акты, неравномерная загруженность различных элементов конструкции здания, повышенные требования пожарной безопасности, так же являются отличительной чертой высотного строительства. Они требуют повышенного внимания и по большей степени влияют на выбор объёмно-планировочных и конструктивных решений в строительстве.



Рисунок 1



Рисунок 2

Все вышеперечисленные факторы влияют на разработку схем, которые будут наиболее рациональными для определённых высот зданий. Немаловажную роль в компоновочном и конструктивном решениях играют высоты объектов. Однако, наиболее существенное влияние на то, какую конструктивную схему нужно выбрать в том или ином случае, оказывают такие факторы, как инженерно-геологические условия, сейсмическая активность выбранного для строительства района, функциональное назначение данного объекта и его архитектурно-планировочные требования. Любое высотное здание можно разделить на диапазоны, в зависимости от его высоты. В свою очередь, каждому диапазону характерны те или иные конструктивные решения. Однако, следует заметить, что разграничение диапазонов в некоторой степени условно, на это влияют вышеперечисленные факторы [2].

Проанализировав то, как развивается ход конструктивной схемы в здании, можно выделить две конструктивные группы, которые являются основополагающими для высотных зданий. Это стеновые, они же диафрагмовые, и стержневые конструктивные схемы. Сочетая эти две группы, можно выявить четыре основополагающие схемы: стеновая, ствольная, каркасная – система со стержневыми конструкциями, оболочковая – схема коробчатого типа [3]. У каждой из перечисленных схем есть свои разновидности. Так конструктивная схема, имеющая ствол жесткости, имеет два вида: схема передачи на ствол нагрузок с помощью оголовка и подвесок, например, два вида «ствольно-подвесной системы», а также ствольно-консольная система», которая передаёт нагрузку на ствол путём её прохода через консоли на основании стволов.

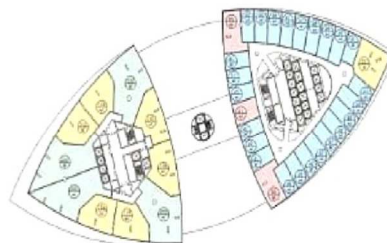
Помимо основных конструктивных схем, более распространёнными стали комбинированные конструктивные схемы. Они, с точки зрения принятия на себя нагрузок и с позиции технико-экономического обоснования и рационального распределения строительных материалов, нередко становятся более полезными и эффективными в строительстве. К примеру, системе оболочки сопутствуют некоторые схемы комбинированного типа, так называемые оболочково-ствольная и оболочково-диафрагмовая схемы. Также нередко применяют и какрасно-стволовые конструктивные схемы. По такой схеме построено большинство зданий в «Москва Сити» – Московском Международном Деловом центре. Примером может послужить самый высокий небоскрёб Европы – башня «Федерация» (рис. 3).

По примеру основных конструктивных схем, которые были указаны выше, можно создать различные комбинации, основанные на двух, трёх, и даже четырёх системах. Нужно отметить, что конструктивную схему здания выбирают как в виде комбинации основных схем, так и в виде только основной схемы. При сочетании этих схем учитывается их рецессивное и доминантное участие, насчитывающие десятки видов.

Немаловажное значение при выборе конструктивной схемы сооружения имеет функциональное назначение объекта, который планируют строить.



а



б

Рисунок 3 – а) Комплекс «Федерация»; б) схематическое изображение плана здания

Рассмотрим конструктивную схему каркасного типа

Возведение зданий с каркасными конструкциями началось в конце прошлого века и быстрыми темпами распространилось по странам Европы и Америки. Сами конструкции каркасных зданий на протяжении всего времени их существования эволюционировали, появлялись новые типы схем, способы строительства каркасных зданий и сооружений.

Эта схема широко применима в строительстве высотных зданий и сооружений. Данная схема позволяет в чистом виде возвести здание либо иное сооружение высотой до 30–35 этажей. Высота в 35 этажей является предельной для данного вида зданий, так как она не имеет возможность обеспечить большей жесткостью более высокие здания. Если рассматривать экономические критерии, то данный вид строительства становится не рентабельным [2]. С увеличением количества этажей неизбежно растёт и усложнение конструкции рамных узлов, предназначенных для восприятия увеличивающихся горизонтальных нагрузок. Вследствие чего появляется необходимость в связевом каркасе со сквозными раскольными стальными диафрагмами жесткости вертикального положения или со сплошными стенами из железобетона – диафрагмами жесткости.

Применяемые каркасные схемы разных типов можно разделить на несколько разновидностей: по статической схеме работы и по материалу, из которого сделан каркас. К первым относятся рамные, рамно-связевые и связевые. Ко вторым – железобетонные и стальные. Последние выполняются в сборном и монолитном вариантах.

В каркасах рамного типа системы рамы воспринимают на себя все вертикальные и горизонтальные нагрузки. В рамно-связевых каркасах для восприятия горизонтальных нагрузок применяются как диафрагмы жесткости, так и сами рамы. А степень их участия в работе можно определить соотношением жесткости двух систем. В связевой же системе нагрузка от ветров воспринимается связями, в то время как рамы, незадействованные ветровыми нагрузками, воспринимают только вертикальную нагрузку.

Рамные каркасы обычно состоят из вертикальных колонн и горизонтальных балок сетки прямоугольного вида, которые соединены между собой жесткими узлами. Рамы нередко включают в себя наружные или внутренние стены здания или сооружения.

При горизонтальных нагрузках жесткие рамы работают за счёт изгиба колонн и балок. Неразрезность жестких рам зависит от жесткости и прочности узлов сопряжений при изгибе.

Несущие способности рам немало зависят от несущих способностей отдельных колонн и балок, они снижаются в зависимости от повышения высоты этажа и увеличения расстояния между ними.

Горизонтальный прогиб жестких рам определяется двумя факторами:

1. Прогибом здания от изгиба как консоли. Рамы работают как вертикальные изгибаемые консольные балки при восприятии опрокидывающего момента. Отдельные волокна таких консольных балок испытывают осевые деформации, при этом укорочение либо удлинение колонн приводит к их горизонтальным перемещениям. Данная форма прогиба составляет 20 % от общей величины перемещения здания и сооружения по горизонтали.

2. Прогибом за счёт работы колонн и балок на изгиб. Такое явление называется сдвиговой деформацией или искажением элементов рамы. Действующие на балки и колонны вертикальные и горизонтальные сдвигающие силы вызывают в этих элементах изгибающие моменты. При таком изгибе рамы искажаются полностью.

На эту долю деформаций приходится приблизительно 80 % общего перемещения здания, из которых 15 % из-за изгиба колонн и 65 % – изгиб балок. Кривизна изогнутой формы соответствует эпюре при сдвигающей нагрузке – максимальному углу наклона в здании, где будет действовать наибольшая сдвигающая нагрузка [4].

Сборно-монолитные конструкции

Помимо рассмотренной конструктивной каркасной схемы здания из сборного железобетона продолжались поиски новых конструктивных схем жилых и общественных зданий, имеющих большое количество этажей.

Совершенно новые возможности для строительства зданий в этом направлении открылись в связи с применением монолитного железобетона.

Применение только сборных каркасных конструкций из железобетона уменьшает возможность компоновки зданий различной конфигурации. Помимо этого, размещение систем в сборном железобетоне ограничивает высоту зданий каркасного вида. Пределами этих ограничений являются 25–30 этажей, при этом нужно учитывать условие создания развитых диафрагм жесткости в плане здания. Для решения данной проблемы вполне уместно использование в строительстве конструкций из сборно-монолитного железобетона, в которой система пространственных диафрагм, имеющая вид ядра жесткости, выполняется в монолитном железобетоне и к этому ядру делается привязка сборного железобетонного каркаса, который будет работать тут только на вертикальные нагрузки. Хорошо отработанная технология сооружения таких конструкций может позволить вывести строительство из сборно-монолитного железобетона на высокий индустриальный уровень, которого достигло строительство из полностью сборных каркасов. Ко всему прочему, данная технология по технико-экономическим качествам, таким как расход материалов и стоимость, совершенно не уступает унифицированному сборному каркасу.

Одним из важнейших качеств каркаса данного типа является возведение зданий и сооружений различной высоты и конфигурации. Проектные проработки показали, что данная конструкция каркаса может быть применима для зданий, имеющих высоту от 40 до 50 этажей.

На данный момент ведутся разработки ряда зданий, имеющих большую этажность с такими конструктивными решениями, сочетающимися с каркасом унифицированного типа, которые будут строиться в Москве в ближайшее время.

Общие выводы о целесообразных схемах зданий каркасного типа

Методы полносборного домостроения, ранее использовавшиеся только для строительства зданий и сооружений, которые ограничивались высотой пяти этажей, в последние несколько лет начали активно использовать для строительства наиболее крупных общественных и административных зданий повышенной этажности.

Накопленный за долгие годы опыт возведения каркасных зданий и сооружений позволяет инженерам-строителям рассмотреть и выбрать наиболее эффективное и удобное конструктивное решение, отвечающее современным требованиям проектирования, экономики и производства работ.

Продолжительность монтажных работ в здании, имеющем стальной каркас с обетонировкой элементов, приблизительно в два раза выше сроков монтажа здания, которое было выполнено в сборном железобетоне. Однако, использование стального каркаса требует увеличение расхода стали и дополнительные затраты труда на возведение здания. Влияние планировочной схемы здания на стоимость устройства каркасов также играет немаловажную роль в строительстве каркасных зданий. Однако, решающее влияние на стоимость строительства ограждающих конструкций оказывает ширина здания. Для сооружений, имеющих широкий корпус площади ограждающих конструкций, составляет примерно $0,119 \text{ м}^2$ на 1 м^3 , здания, в то время как по всем остальным проектам, ширина которых составляет 15–18 метров, площадь ограждающих конструкций составляет $0,143\text{--}0,166 \text{ м}^2$. Эти данные влияют на экономику строительства, так как появляется существенная разница в стоимостях ограждающих конструкций и устройстве каркаса и перекрытия зданий.

Вышеперечисленные данные позволяют нам сделать выводы.

В строительстве общественных и административных зданий и сооружений, высота которых около 20–30 этажей, применение сборного железобетонного каркаса является наиболее рационально как по показателям расходов стали и, трудовых затрат и продолжительности строительства, так и по стоимости. В зданиях, имеющих высоту более 30 этажей, применение каркаса из стали с перекрытиями из сборного железобетона разумно при обязательном эффективной индустриальной противопожарной защиты несущих стен и конструкций.

Нижние колонны нетиповых этажей следует делать из стали. Однако, в отдельных случаях, в которых требуется более крупная колонная сетка и при увеличенных расчётных нагрузок на перекрытие, для которых требуются создание новой номенклатуры сборных железобетонных изделий, разумно применение в строительстве стальных конструкций.

Однако изготовленные на заказ сборные железобетонные конструкции увеличиваются в стоимости в 1,5–2 раза по сравнению с обычными, также появляется необходимость в изготовлении специальных металлических форм, которые невозможно использовать без дальнейшей амортизации.

Наиболее целесообразной рекомендацией для систем жесткости каркаса высотного здания, количеством более 16 этажей, является пространственно-связевая система в виде ядер жесткости или ядер-оболочек.

Возможности снижения стоимости основных конструктивных частей здания следует изыскивать в использовании более экономически выгодных конструкций наружных стен в сочетании с требованиями индустриальности изготовления и монтажа панелей и архитектуры.

Направления дальнейшего развития каркасных решений высотных зданий.

В первую очередь будет происходить расширение номенклатуры унифицированного каркаса, а также освоение всего перечня изделий номенклатуры, то есть использование изделий для полного модульного ряда пролётов. Это создаст большое количество вариантов каркасных схем.

Проектные разработки последних лет показали, что на данной номенклатуре каркасных изделий получается выработать для дальнейшего использования большое разнообразие объёмно-планировочных изделий для сооружений, несущих совершенно разное назначение и имеющих различные высоты и конфигурации.

Создание перечня фасадов для образования эркеров, лоджий, ризалитов, пилластр и множества других изделий позволяет довольно интересные пластические архитектурные решения. Так при появлении унифицированного каркаса удалось получить перечень изделий, из которых в дальнейшем будет собираться и конструироваться разнообразные здания и сооружения, в том числе и высотного типа.

Довольно перспективным направлением, которое возможно может значительно расширить возможности сборного унифицированного каркаса, является его сочетание с монолитными железобетонными конструкциями. Это позволяет обеспечить жесткость конструкций, но и открывает возможности для создания оригинальных, сложных и уникальных архитектурных решений.

Успешность развития каркасных схем строительства определяется с помощью рационального решения конструкций элементов, перекрытий, узлов, наружных ограждений.

В целом каркасные конструктивные схемы высотных зданий из-за обилия свободного пространства являются довольно эффективными для объемно-планировочного решения. Свобода планировки минимально ограничена благодаря вертикальным несущим конструкциям, что позволяет увеличить универсальность здания. Также каркасные здания очень удобны в строительстве, в них легко выполнять стеновое заполнение, и свободно устанавливать дверные, оконные проемы и размещение коммуникаций. Каркасные здания применяют для построения зданий и сооружений различных типов: административных, жилых, офисов, гостиниц и торговых зданий.

Обобщение и анализ каркасного строительства высотных зданий позволяет тенденции в его развитии и тем самым выбрать наиболее удобные и рациональные схемы конструктивного решения, которые в дальнейшем можно применять в современном строительстве зданий и сооружений высотного типа.

Литература

1. Маклакова Т.Г. Высотные здания. Градостроительные и архитектурно-конструктивные проблемы проектирования : монография. – М. : Издательство АСВ, 2006. – 160 с.
2. Современное высотное строительство : монография. – М. : ГУП «ИТЦ Москомархитектуры», 2007. – 440 с.
3. Козак Ю. Конструкции высотных зданий / пер. с чешского Г.А. Казиной. – М. : Стройздат, 1986. – 308 с.
4. Шуллер В. Конструкции высотных зданий / пер. с английского. – Стройиздат, 1979. – 248 с.
5. Себелева А.А., Леонова А.Н. Стальные каркасы высотных зданий // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2020. – № 8. – С. 177–184.
6. Леонова А.Н., Розаева Е.В. База данных учебного материала «Конструктивные схемы каркасных зданий» / Свидетельство о регистрации базы данных RU 2019621270, 15.07.2019. Заявка № 2019621136 от 01.07.2019.
7. Григорьева В.П., Леонова А.Н. Аутригерные конструктивные системы // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2019. – № 4. – С. 332–336.
8. Махинько А.С., Овсиенко Е.А., Леонова А.Н. Разработка новых конструктивных форм, методом расчета, оптимизации и реконструкции строительных конструкций и сооружений // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2020. – № 2. – С. 339–342.
9. Леонова А.Н. Достоинства и недостатки применения навесных вентилируемых фасадных систем при реконструкции зданий в курортных регионах // В сборнике: Строительство в прибрежных курортных регионах. Материалы 7-й международной научно-практической конференции. – 2012. – С. 68–71.
10. Карпанина Е.Н., Леонова А.Н. Некоторые аспекты использования конструкционных бетонов в каркасах энергоэффективных зданий // В сборнике статей Международной научно-практической конференции: Экологические, инженерно-экономические, правовые и управленческие аспекты развития строительства и транспортной инфраструктуры. ГБОУ ВО «КубГТУ»; Международный центр инновационных исследований «OMEGA SCIENCE». – 2017. – С. 119–122.

References

1. Maklakova T.G. High-rise buildings. Town planning and architectural design design problems : monograph. – M. : Publishing DIA, 2006. – 160 p.
2. Modern high-rise building : monograph. – M. : GUP Moscomarchitecture ITC, 2007. – 440 p.
3. Kozak Yu. Construction of tall buildings / translation from Czech G.A. Casinos. – M. : Stroizdat, 1986. – 308 p.
4. Schuller W. Construction of tall buildings : translated from English. – Stroizdat, 1979. – 248 p.
5. Sebeleva A.A., Leonova A.N. Steel frames of high-rise buildings // Electronic network polythematic journal «Scientific works of KubSTU». – 2020. – № 8. – P. 177–184.
6. Leonova A.N., Rozaeva E.V. Database of educational material «Structural schemes of frame buildings» / Certificate of registration of the database RU 2019621270, 15.07.2019. Application № 2019621136 dated 01.07.2019.
7. Grigorieva V.P., Leonova A.N. Outrigger structural systems // The science. Technic. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2019. – № 4. – P. 332–336.

8. Makhinko A.S., Ovsienko E.A., Leonova A.N. Development of new structural forms by the method of calculation, optimization and reconstruction of building structures and structures // The science. Technic. Technologies (Polytechnic Bulletin). – 2020. – № 2. – P. 339–342.
9. Leonova A.N. Advantages and disadvantages of the use of hinged ventilated facade systems in the reconstruction of buildings in resort regions // In the collection: Construction in coastal resort regions. Materials of the 7th International Scientific and Practical Conference. – 2012. – P. 68–71.
10. Karpanina E.N., Leonova A.N. Some aspects of the use of structural concrete in the frames of energy-efficient buildings // In the collection of articles of the International Scientific and Practical Conference: Environmental, engineering, economic, legal and managerial aspects of the development of construction and transport infrastructure. GBOU VO «KubSTU»; International Center for Innovative Research «OMEGA SCIENCE». – 2017. – P. 119–122.