

К вопросу разработки конструктивных схем каркасов высотных монолитных железобетонных зданий

И.В. Кашина, Н.И. Закеева, Д.В. Калиберда, К.А. Ким, Д.Р. Ливинский
Донской Государственный Технический Университет

Аннотация: В данной статье поднимается вопрос проектирования высотных монолитных железобетонных зданий. Представлены возможные варианты применения основных частей каркаса здания для создания оптимальной конструктивной схемы в соответствии с требованиями, предъявляемыми для обеспечения зданию жесткости, устойчивости, противодействия нагрузкам внешних сил и противостояния деформациям. А также предлагается современный метод расчета конструкций, который позволяет обеспечить долговечность и все необходимые условия для безопасной эксплуатации здания.

Ключевые слова: конструктивная схема, жесткость, устойчивость, надёжность, каркас, несущий элемент, конструктивная система, «гибкая планировка», стеновая систем, метод конечных элементов.

За последние годы в мире все большую популярность набирает строительство высотных зданий, с помощью которых удастся решить ряд немаловажных задач – обеспечить жильем или офисами больше желающих и сэкономить землю, которая в условиях больших городов-мегаполисов становится настоящим дефицитом. Наиболее эффективными каркасами для высотных зданий является монолитные железобетонные каркасы. Именно благодаря этой технологии удастся постройка высотных сооружений, поражающих надежностью и функциональностью.

Одной из основных задач при проектировании высотных зданий является обеспечение здания общей устойчивостью.

Устойчивостью здания называют способность противостояния усилиям, которые стремятся вывести его из начального состояния статического или динамического равновесия [1]. Потеря общей устойчивости здания может возникнуть в случае увеличения деформаций, возникающих в условиях недостаточной жесткости и значительной массы здания.

При проектировании уникальных зданий предоставляют особые требования безопасности, таким образом, проектирование высотных зданий -

сложная задача [2,3]. Следовательно, от правильности и точности её выполнения зависит жесткость, надежность и долговечность конструкции в будущем. Проектирование уникальных зданий рассмотрено в статье Лапиной О.А. «Возведение высотных сооружений». В статье рассмотрены особенности проектирования высотных зданий. Автор говорит о том, что высотные здания проектируются компактными, небольшими размерами в плане.

Конструктивная основа высотных зданий - это стальной, железобетонный или комбинированный каркас с пространственным ядром жесткости или плоскими диафрагмами — связями [4]. В большинстве высотных зданий предусмотрено ядро жесткости, которое воспринимает горизонтальные нагрузки и обеспечивает устойчивость и пространственную жесткость всего здания в процессе монтажа и эксплуатации [5].

Конструктивные решения высотных зданий разнообразны, но выявлены наиболее распространённые и эффективные конструктивные системы, которые применяются в современном высотном проектировании. Конструктивные системы подразделяют на систему с несущими стенами (бескаркасная); каркасную с диафрагмами жесткости (рамно-связевая схема); рамно-каркасную; ствольную; оболочковую (коробчатая); систему с мегаколоннами; систему «HexaGrid» [6].

Стеновая система – основная часть для зданий любого назначения. Однако система с частым членением внутреннего пространства не подходит для зданий, где требуется «гибкая планировка» [7]. Кроме того, большой вес несущих стен делает систему экономически приемлемой только для зданий средней этажности. Также системы с несущими стенами обладают высокой жесткостью, в связи с большой массой.

Наиболее характерные особенности современного высотного строительства при использовании рамно-связевой схемы: стена-диафрагма

выполняется в виде монолитного железобетонного или сталежелезобетонного ствола жёсткости; выполнение каркаса из монолитного железобетона; повышение эффективности каркаса за счёт использования горизонтальных поясов жёсткости и аутригеров [8].

Достоинством рамной схемы можно считать относительно свободную планировку. Однако имеет место быть существенный недостаток – это трудность обеспечения необходимой жёсткости в пределах экономической целесообразности. Расход стали рамного каркаса значительно превышает (на 20-30%) расход стали рамно-связевого каркаса [9]. Именно по этой причине в небоскребах с высотой 30 этажей и выше рамные каркасы в чистом виде применяются редко.

Стволы жёсткости, которые могут проектироваться, как составная часть связевых систем, используются для создания каркасов с консольными и подвесными этажами. Система с консольными конструкциями не является распространённым конструктивным решением, так как из-за гибкости консольных конструкций размеры перекрытий ограничены. Отличительная черта такой системы – фасады зданий максимально открыты, и помещения в них хорошо освещаются. Стоит отметить, что ствольные системы возводятся на основаниях с достаточной несущей способностью [10]. Ствольные системы являются простыми с точки зрения статического расчёта, но при большой высоте (примерно от 80 м) или при большой гибкости ядер эти системы не являются рациональным решением, особенно с точки зрения обеспечения достаточной жёсткости в горизонтальном направлении.

Оболочковая (коробчатая) конструктивная система - требуемая изгибная жёсткость обеспечивается наружной оболочкой. К наиболее перспективным модификациям оболочковой системы относится многосекционная оболочковая система («пучок труб»). Оболочковая система в её «чистом» виде практически не применяется, так как устройство

вертикальных коммуникаций и перекрытий предопределяет применение внутренних опорных вертикальных конструкций. Широкое распространение получили комбинированные системы: ствольно-оболочковая («труба в трубе») и каркасно-оболочковая. Недостатком оболочковых систем является то, что фасады зданий загромождены несущими конструкциями, вследствие чего возникают трудности в расположении оконных проёмов [11].

Одним из современных направлений мирового высотного строительства является использование комбинированных сталежелезобетонных конструкций. Комбинация стального проката и высокопрочного железобетона позволяет модифицировать существующие конструктивные системы и, как следствие, строительство сверхвысоких зданий. Среди таких систем можно выделить каркасно-ствольную с мегаколоннами. Мегаколонны – это комбинированная конструкция, которая армируется отдельными стержнями и жёсткой арматурой (сварные коробчатые профили). Фактически мегаколонны обеспечивают работу всей системы в целом.

Система HexaGrid, которая получила название «Соты», или «Шестиугольная сетка» состоит из располагающейся по периметру здания сети диагональных связей, образованных в результате пересечения её диагональных и горизонтальных составляющих [12,13]. Элементы шестигранной конфигурации конструктива, благодаря своей форме, могут нести как вертикальные, так и горизонтальные нагрузки, перераспределяя их наиболее равномерно. Сотовая структура обеспечивает как эластичность при прогибах, так и жёсткость против действия поперечных сил, и не нуждается в высокой жёсткости центрального ствола. При этом более эффективно минимизируют поперечные деформации, распределяя поперечные силы посредством осевого действия диагональных элементов, тогда как другие схемы воспринимают поперечные усилия с изгибом вертикальных колонн и

горизонтальных перемычек. Градус угла между диагональными элементами, образующими узлы сети «HexaGrid», является существенным проектным параметром, определяющим распределение напряжений внутренних сил в элементах системы здания [14]. Система «HexaGrid» является относительно новой идеей и требует дальнейших исследований.

Разработка модели каркаса высотного здания не обходится без изучения результатов исследований, проводимых при определении устойчивости, прочности и напряженно-деформированного состояния возведенных несущих конструктивных элементов небоскребов с учетом (обнаруженных) проектных расчетных деформаций колонн и стен [15].

Литература

1. Щукина Н.М. Современное высотное строительство. М: ИТЦ Москомархитектуры, 2007. 22 с.
2. Шумейко В.И., Кудинов, О.А. Об особенностях проектирования уникальных, большепролетных и высотных зданий и сооружений // Инженерный вестник Дона, 2013, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2164.
3. Пименова Е.В., Шумейко В.И., Трансформация в архитектуре уникальных общественных зданий // Инженерный вестник Дона. 2016. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5690
4. Гранкина Д.В., Иванов Н.В., Коняхин В.О., Современные конструктивные решения высотных зданий на примере строительства Лахта-Центра // Инженерный вестник Дона. 2018. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5290
5. Пономарев В.А. Архитектурное конструирование. Москва: Архитектура – С, 2008. 737 с.
6. Маклакова Т.Г. Высотные здания. Градостроительные и архитектурно-конструктивные проблемы проектирования М: АСВ, 2008. 126 с.

7. Вильман Ю. А. Технология строительных процессов и возведение зданий. Современные прогрессивные методы. изд. М: Издательство АСВ, 2014. 193 с.

8. Белостоцкий А.М., Павлов А.С., Расчеты на устойчивость против прогрессирующего обрушения. Зачем, как и «что потом»? // Высотные здания, № 5-6, октябрь-январь, 2014-2015. 116 с.

9. Шуллер Вольфганг, Конструкции высотных зданий // John Wiley & Sons Inc., 1977, 64 с.

10. Шумейко В.И., Пименова Е.В. Современные направления в проектировании уникальных высотных зданий // Проблемы проектирования и строительства уникальных зданий и сооружений, Ростов-на-Дону, 2016, 26 с.

11. Карамышева А.А., Аракелян А.А., Иванов Н.В., Коняхин В.О., Гранкина Д.В., Обеспечение устойчивости высотных уникальных зданий. Архитектурно-планировочные и конструктивные решения // Инженерный вестник Дона, 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5248

12. Ройтман В.М., О механизме прогрессирующего обрушения высотного здания ВТЦ-7 во время событий 11 сентября 2001 года в Нью-Йорке // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety, Том 24, № 10, 2015. 39-40 сс.

13. Лепешкина Д.О. Прогрессирующее обрушение зданий и сооружений // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки: сб. ст. по мат. LXI междунар. студ. науч.-практ. конф. № 1(60). URL: [sibac.info/archive/technic/1\(60\).pdf](http://sibac.info/archive/technic/1(60).pdf) (дата обращения: 19.01.2020)

14. Магай А. А., Архитектурное проектирование высотных зданий и комплексов - М.: АСВ, 2015. с. 66



15. Городецкий А.С., Батрак Д.А., Городецкий М.В., Лазнюк С.В. Расчет и проектирование конструкций высотных зданий из монолитного железобетона. – Киев: Факт, 2004. с. 99.

References

1. Shukina N.M. Sovremennoe vysotnoe stroitel'stvo [Modern high-rise construction] M: ITC Moskomarhitektury, 2007. 22 p.

2. Shumejko V. I., Kudinov O.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2164.

3. Pimenova E.V., Shumejko V.I. Inzhenernyj vestnik Dona, 2016. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5690

4. Grankina D.V., Ivanov N.V., Konyahin V.O. Inzhenernyj vestnik Dona. 2018. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5290

5. Ponomarev V.A. Arhitekturnoe konstruirovaniye [Architectural design]. Moscow: Arhitektura. S, 2008. 737 p.

6. Maklakova T.G. Vysotnye zdaniya. Gradostroitel'nye i arhitekturno-konstruktivnye problemy proektirovaniya [Tall building. Urban planning and architectural design problems] M: AVS, 2008. 126 p.

7. Vil'man Y. A. Sovremennyye progressivnyye metody [Modern progressive methods] M: Izdatel'stvo ACB, 2014. 193 p.

8. Belostotskij A.M., Pavlov A.S., Vysotnye zdaniya, № 5-6, oktyabr'-yanvar', 2014-2015. 116 p.

9. Schueller Wolfgang, Konstrukcii vysotnyh zdaniy [High-Rise Building Structures]. John Wiley & Sons Inc., 1977, 64 p.

10. Shumejko V. I., Pimenova E. V. Problemy proektirovaniya i stroitel'stva unikalnyh zdaniy i sooruzheniy. Rostov-na-Donu, 2016, 26 p.

11. Karamysheva A.A., Arakelyan A.A., Ivanov N.V., Konyahin V.O., Grankina D.V., Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5248



12. Rojzman V.M., Fire and Explosion Safety, Tom 24, № 10, 2015. 39-40 pp.
13. Lepeshkina D.O. Nauchnoe soobshchestvo studentov XXI stoletiya. Tehnicheskie nauki: sb. st. po mat. LXI mezhdunar. stud. nauch.-prakt. konf. № 1(60). URL: [sibac.info/archive/technic/1\(60\).pdf](http://sibac.info/archive/technic/1(60).pdf) (data obrashcheniya: 19.01.2020).
14. Magaj A. A., Arhitekturnoe proektirovanie vysotnyh zdaniy i kompleksov [Architectural design of high-rise buildings and complexes] M.: ASV, 2015. 66 p.
15. Gorodeckij A.S., Batrak D.A., Gorodeckij M.V., Laznyuk S.V. Raschet i proektirovanie konstrukcij vysotnyh zdaniy iz monolitnogo zhelezobetona [Calculation and design of structures of high-rise buildings made of monolithic reinforced concrete]. Kiev: Fakt, 2004. 99 p.