

УДК 666.94.015.7

**Рациональные конструктивные схемы высотных зданий  
из монолитного железобетона и сталежелезобетона**

Рогалевич К.В.

Научный руководитель – Пецольт Т.М.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

Развитие высотного строительства тесно связано с роста населения городов, недостатка земельных участков и их высокой стоимости. Определение высотности является достаточно сложным процессом в котором должны быть учтены с одной стороны, требования заказчика, с другой – имеющаяся территория для застройки и вся инфраструктура.

Согласно ТКП 45-3.02-108–2008 высотным зданием называется многоэтажное здание жилого назначения высотой от 75 до 100 м. включительно, или общественного либо многофункционального назначения высотой от 50 до 200 м. включительно.

Проектирование высотного здания независимо от его целевого назначения, например в качестве жилого дома, административного, учебного корпуса или для более широкого многоцелевого назначения, требует комплексного учета различных аспектов проектирования, изготовления строительных конструкций и производства работ.

Ветровые и сейсмические воздействия стали определяющими факторами проектирования высотных зданий, т.к. использование высокопрочных материалов для несущих конструкций приводит к уменьшению размеров элементов и веса здания, что в свою очередь обуславливает их большую гибкость и подверженность аэродинамическим воздействиям. Современные небоскребы характеризуются повышенными прогибами и колебаниями по сравнению с протяженными зданиями строительства прошлых лет.

К особенностям высотных зданий относятся:

А) преобладающее значение горизонтальных (в первую очередь, ветровых) нагрузок над вертикальными;

Б) очень высокая нагрузка на несущие конструкции, в том числе на основания и фундаменты;

Г) повышенная значимость воздействия ряда природных факторов (сейсмика, солнечная радиация, аэродинамика) и техногенных

(вибрации, шумы, аварии, пожары, диверсионные акты, локальные разрушения) на безопасность эксплуатации;

Д) проблемы обеспечения совместной работы в несущих конструкциях таких материалов, как сталь и бетон, а также неодинаково нагруженных элементов конструкций, например, колонн и стен.

Эти особенности необходимо учитывать при выборе конструктивной схемы высотного здания и проектировании несущих конструкций. Например, под влиянием ветровых нагрузок в вертикальных обычно сжатых несущих конструкциях могут возникнуть растягивающие усилия. Значение нагрузок на основание из-за ограниченности в ряде случаев площади под фундамента высотного здания могут достигать 0,8–1 МПа, а в вертикальных несущих конструкциях (колоннах, простенках) – 50–70 МПа. Зарубежный опыт показывает, что нагрев фасада высотного здания в случае неучета этого фактора при проектировании приводит к дополнительным изгибным деформациям здания и нагрузкам на несущие конструкции. Дополнительные требования к конструктивному решению высотных зданий предъявляют также проблемы освещенности и инсоляции, огнестойкости, аварий и локальных разрушений. В последние годы возникла проблема диверсионных актов в отношении таких уязвимых объектов, как высотные здания.

Ограничение динамической реакции высотных зданий может быть достигнуто следующими методами:

- увеличение жесткости путем применения эффективной конструктивной схемы;
- выбором эффективной формы здания;
- созданием дополнительных усилий в здании для уравновешивания внешних горизонтальных воздействий.

С развитием высотного строительства было разработано несколько конструктивных схем (систем) таких зданий: каркасная с диафрагмами жесткости, рамно-каркасная, бескаркасная с перекрестно-несущими стенами, ствольная, каркасно-ствольная, коробчатая (оболочковая), ствольно-коробчатая («труба-в-трубе» или «труба-в-ферме»). Выбор той или иной конструктивной схемы (системы) зависит от многих факторов, основными из которых являются высота здания, условия строительства (сейсмичность, грунтовые особенности, атмосферные и в первую очередь ветровые воздействия), архитектурно-планировочные требования. Каждая из вышперечисленных систем имеет свои разновидности.

Стволом или ядром в высотных зданиях является жесткий (монолитно выполненный) лестнично-лифтовый узел. Каркасные и рамно-каркасные системы применяют при высоте здания до 200–250 м. В целях повышения жесткости высотного здания и обеспечения свободной планировки применяют ствольные и каркасно-ствольные системы. Эти системы позволяют в довольно широких пределах применять развитую пластику фасадов. Стволы (ядра) изготавливают из железобетона, стали или их комбинаций. Стволы выполняют роль жестких вертикально расположенных консолей, заземленных в земле и воспринимающих горизонтальные нагрузки. Поскольку поперечное сечение лестнично-лифтовых узлов ограничено, жесткость стволов также ограничена, в связи с чем они могут обеспечивать необходимую жесткость здания в определенных пределах.

Для повышения изгибной жесткости высотных зданий применяют коробчатые или оболочковые системы, в которых повышение жесткости достигается за счет включения в работу на поперечный изгиб наружных ограждений, выполняемых в этом случае несущими. Поперечное сечение жесткого ядра увеличивается до размеров наружной оболочки здания. Размеры здания в плане при этом имеют ограничения по условию обеспечения требуемого естественного освещения. Повышение жесткости достигают также приданием высотному зданию некоторой конусности .

В коробчатых системах наружная несущая оболочка может выполняться в виде безраскосной и раскосной решетки из стали или железобетона. Безраскосная решетка не вызывает затруднений при размещении светопрозрачных ограждений по фасаду высотного здания, но уступает раскосной в отношении обеспечения жесткости здания. Поэтому для повышения жесткости наружной оболочки применяют диагональные связи. Большей жесткостью обладают ствольно-коробчатые системы с диагональными связями («труба в ферме»). Вместе с тем эти системы не позволяют применять пластические решения фасадов и требуют частого расположения несущих стоек по периметру здания. Система «труба в ферме» может эффективно применяться в зданиях свыше 100 этажей.

Повышения сопротивляемости высотного здания ветровым нагрузкам можно достигнуть при использовании рациональной формы. Как показали многочисленные зарубежные исследования и опыт эксплуатации, наиболее целесообразной в отношении воздей-

ствия ветра является круглая в плане форма здания. Несколько уступает ей эллиптическая (овальная) форма, а затем и квадратная. В связи с этим многие высотные здания за рубежом имеют круглую или овальную в плане форму, например, здания «Марина Сити» в г. Чикаго и «Вашингтон Плаза» в г. Сиэтле (США), башни «Петронас» в г. Куала-Лумпуре (Малайзия), башня «Тайпей» в г. Тайпей (Тайвань) и другие. Многие высотные здания имеют квадратную или близкую к ней форму в плане.

Ввиду относительной простоты возведения у нас практикуется использование монолитного каркаса при строительстве высотных зданий. Но традиционный вариант каркаса здания с монолитными колоннами, на мой взгляд, не целесообразен, так как с учетом ветровых и сейсмических нагрузок сечения колонн превысят размеры 50x50 см, что в жилье недопустимо из-за выступа части колонн за пределы стен и перегородок.

Сейчас существуют две перспективные конструктивные схемы для строительства высотных зданий: каркасное здание с применением трубобетона и модульная опорно-стержневая система.

Суть применения трубобетона в том, что бетон заливается в металлическую оболочку. И если в открытых конструкциях, когда используется обычная форма-опалубка, бетон всегда имеет некоторую усадку, то в жесткой оболочке, наоборот, происходит его распираание. Конструкции с трубобетоном работают более гибко, по сравнению с обычными армированными опорами, и выдерживают значительно большие нагрузки как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскости. В мире накоплен достаточный опыт строительства высотных сооружений с применением трубобетона и монолитных конструкций в сейсмоопасных зонах.

В отличие от традиционных конструкций трубобетон обладает повышенной несущей способностью. Трубобетонные колонны, например для 30-этажного здания, можно выполнить из труб диаметром 245 мм. Эти колонны обладают большим запасом прочности, так как толщину стенок стальной трубы можно увеличивать до 50 мм. Колонны таких габаритов несложно укрыть в наружных стенах и перегородках, что для жилья является важным фактором. Использование трубобетона позволяет в высотных зданиях применить каркасную схему зданий взамен схемы с наружными и внутренними несущими стенами. Это уменьшает вес здания в 1,5–1,8 раза. Уменьшается расход металла и

бетона. Кроме этого, при изготовлении колонн из трубобетона не требуется опалубка, что во многом снижает трудозатраты и уменьшает продолжительность строительства.

Применение модульной опорно-стержневой системы в строительстве высотных зданий уменьшит их вес в 1,7–2,0 раза, расход бетона – в 2,0–2,2 раза, при этом расход металла будет равен расходу металла в зданиях из монолитного железобетона. Сроки возведения каркаса не превысят одной недели на этаж (при площади этажа 1 000 м<sup>2</sup>).

Оба варианта имеют определенные преимущества перед высотными зданиями с несущими наружными и внутренними стенами. Однако наибольший экономический эффект можно получить, объединив эти две системы. Как показывают предварительные расчеты, выполненные разработчиком данной системы МОСС Бириним В.А., вес высотного здания можно уменьшить в 2,0–2,5 раза. Расход металлопроката составит 70–90 кг/м<sup>2</sup>, расход бетона – 0,28–0,32 кг/м<sup>2</sup>, расход арматуры – 12–16 кг/м<sup>2</sup>, скорость возведения каркаса здания – 1 этаж за день. А малая материалоемкость и технологичность изготовления конструкций определяет и низкую стоимость, что делает их привлекательными для вложения инвестиций. Кроме того, позволяет резко сократить сроки возведения зданий.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Шулер, В. Конструкции высотных зданий / В.Шулер. – М., 1979.
2. Высотные здания. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-3.02-108-2008.
3. Уникальные и специальные технологии в строительстве. – № 1/2004. – 19.08.2005.
4. Высотное домостроение. Мировой и отечественный опыт. Уникальные и специальные технологии в строительстве. Информационный сборник / рук. С. Копбаев. – М., 2004.
5. Журнал-каталог «Строительная безопасность-2006».