

## Практика применения оболочковой конструктивной системы при строительстве высотных зданий

*Н.И. Закиева, А.Д. Шахиев, Е.Ю. Евлахова*

*Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону*

**Аннотация:** В данной обзорной статье рассмотрено высотное строительство, приведены факторы, влияющие на выбор конструктивной системы здания. Подробно описана оболочковая (коробчатая) конструктивная система. Перечислены достоинства и недостатки данной конструктивной системы.

**Ключевые слова:** высотное здание, конструктивная система (КС), оболочковая (коробчатая) система, горизонтальная нагрузка, жесткость, устойчивость, безраскосная решетка, раскосная решетка, колонна, обвязочная балка, диагональная связь.

На сегодняшний день, в условиях роста и развития городов, высотное строительство набирает все большую популярность. К высотным зданиям и сооружениям относятся здания и сооружения высотой более 75 м. Высотность здания значительно влияет на определение конструктивной системы (КС). Так же значительными показателями, влияющими на выбор КС, являются: атмосферные (в первую очередь ветровые) и сейсмические воздействия, инженерно-геологические условия [2], архитектурно-планировочные требования, функциональное назначение сооружения.

КС представляет собой [3] совокупность вертикальных и горизонтальных несущих конструкций здания, которые совместно обеспечивают его прочность, жесткость и устойчивость.

По виду применяемых вертикальных несущих конструкций можно выделить четыре основные КС высотных зданий и сооружений (рис. 1):

- каркасная;
- бескаркасная (стенная);
- ствольная;
- оболочковая.

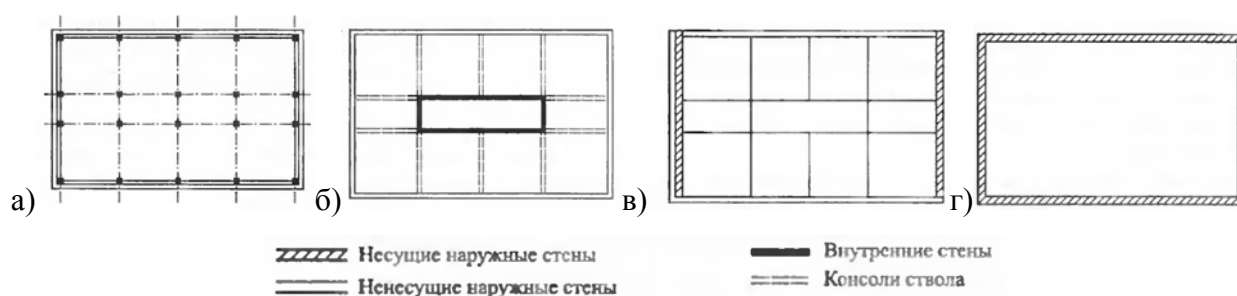


Рис.1 – Основные конструктивные системы зданий  
а - каркасная; б - бескаркасная (стенная); в - ствольная; г - оболочковая.

В данной статье рассмотрим оболочковую [4] КС.

Оболочковая (коробчатая) конструктивная система применяется при строительстве зданий жилого, административного или многофункционального назначения. Данная система обладает наибольшей жесткостью из всех перечисленных систем. Наиболее эффективна оболочковая система для высотных зданий свыше 150-200 м. Эта система применима [5] для высотных зданий, у которых отношение меньшего размера в плане к высоте находится в пределах 1:6 -1:7. Конструкцию оболочки выполняют как из стальных элементов, так и из железобетонных. Поперечное сечение оболочки может иметь различную форму и зависит от формы проектируемого здания. Исходя из архитектурного решения, наружная несущая конструкция может быть выполнена по форме призмы или цилиндра, пирамиды или другой вариации.

Очень важно при строительстве высотных зданий обеспечить достаточную сопротивляемость здания горизонтальным нагрузкам. Применение оболочковой системы позволяет решить эту проблему. Повышение жесткости осуществляется за счет расположения несущих конструкций по периметру здания, что дает оболочковой системе преимущество перед другими системами. Кроме того, конструкции перекрытий, которые не передают нагрузки на ствол здания, облегчают.

В зависимости от расположения оболочки можно выделить несколько типов этой системы:

- внутренние оболочки, размещенные по внутреннему фасаду, если здание имеет внутренний дворик - атриум (рис.2, а);
- наружные оболочки по контуру здания, по наружному фасаду (рис.2, б);
- оболочка в оболочке (труба в трубе) (рис.2, в);
- многосекционная оболочка (рис.2, г).

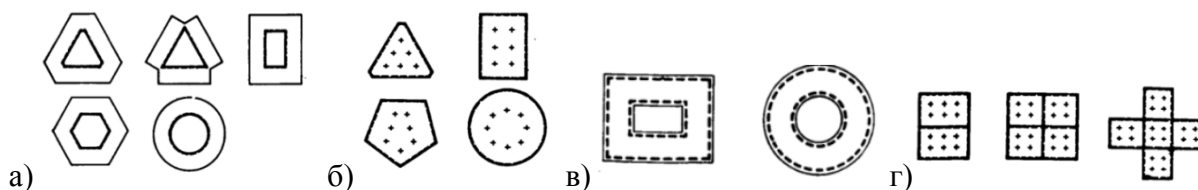


Рис.2 - Оболочковые системы зданий

*а* - внутренние оболочки различной формы в плане; *б* - наружные оболочки, образующие стены фасадов; *в* - оболочка в оболочке; *г* - многосекционные оболочки.

Конструкция оболочки здания [6] может быть в виде:

- пространственной безраскосной решетки;
- пространственной раскосной решетки.

Пространственные безраскосные решетки наружных оболочек состоят из близко расположенных по контуру здания колонн, жестко соединенных между собой обвязочными балками. В наружных стенах таких систем при воздействии сил сдвига возникают изгибающие моменты в колоннах и особенно в балках [7], что значительно влияет на несущую способность и жесткость конструкции. В зависимости от значения изгибающего момента в элементах решетки и податливости соединений в углах при сдвиге определяют расстояние между колоннами и балками. Расстояние между колоннами при таких системах составляет 1,5 - 3 м. Образовавшаяся при этом сетка из колонн и балок настолько густая, что служит в качестве переплетов остекления.

Примером здания с решетчатой безраскосной оболочкой является здание компании «Standard Oil» в Чикаго США (рис. 3, е). Выбор КС для этого сооружения был обусловлен способностью обеспечить надежную работу здания и экономической эффективностью. Оболочковые КС, кроме конструктивных преимуществ, еще являются экономически эффективными, так как чаще всего суммарный расход материалов на 1 м<sup>2</sup> полезной площади равнозначен расходам при традиционном строительстве сооружений со значительно меньшим показателем высотности.

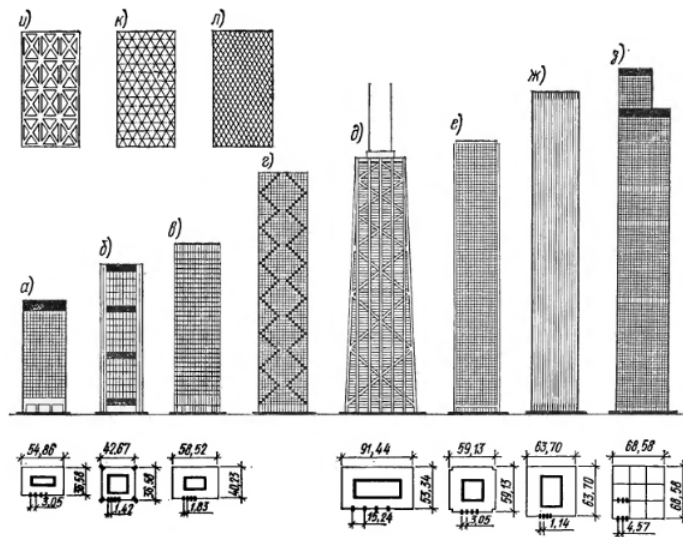


Рис. 3 - Несущие конструкции зданий, решенных по оболочковой (коробчатой) системе  
а - коробчато - ствольная; б - коробчатая из балок Вирендаля (стальная пространственная безраскосная решетка); в - коробчато - ствольная; г - с диагональными связями из железобетона; д - коробчатая со стальной раскосной решеткой наружных стен; е, ж - коробчатая из балок Вирендаля; з - многосекционная коробчатая; и - решетка из колонн и диагональных элементов; к - решетчатая конструкция с балками и диагональными элементами; л - решетчатая конструкция с диагональными элементами

Оболочковую (коробчатую) систему с раскосной решеткой можно подразделить:

- решетчатая оболочка из колонн и диагональных связей;
- решетчатая оболочка из диагональных элементов.

Пространственные раскосные решетки, состоящие из колонн и диагональных связей, позволяют существенно повысить жесткость конструкции. Такой жесткости достигают за счет включения в

прямоугольную сетку балок и колонн дополнительных диагональных связей. Диагональные связи совместно с обвязочными балками воспринимают не только горизонтальные нагрузки, но и вертикальные, что делает такую систему более эффективной при строительстве высотных зданий. При такой системе расстояние между колоннами можно принимать значительно больше, чем при оболочковой системе с безраскосной решеткой. «875 North Michigan Avenue» в Чикаго, США является примером здания, построенного по данной системе (рис. 3, д). Геометрическая форма здания представляет собой усеченную пирамиду, жесткость которой обеспечивается за счет наклонных наружных колонн. Применение оболочковой системы с такой геометрической формой позволило получить [8] высокие технико-экономические показатели.

В наружных стенах из железобетона диагонали создаются путем заполнения оконных проемов по схеме раскосов. Примером может служить здание «Onterie Center» в Чикаго, США (рис. 3, з). В данном случае решетчатая система решена по так называемой суперсистеме, то есть раскосы проходят через несколько этажей, в результате чего конструкции промежуточных этажей играют второстепенную роль. Принятие такого решения позволило получить здание с очень жесткой и экономически эффективной системой.

Решетчатая оболочка из диагональных элементов образуется за счет близко расположенных диагоналей без применения колонн (рис. 3, к, л). При такой системе диагонали воспринимают вертикальные нагрузки и повышают жесткость здания при горизонтальных нагрузках. Однако стоит сказать о том, что для восприятия горизонтальных нагрузок диагонали являются эффективным решением, но для восприятия вертикальных нагрузок более эффективны вертикальные колонны.

---

Для строительства зданий большой высоты и с весьма большим внутренним пространством помещений применяется многосекционная оболочковая система. Эта система применена для здания «Willis Tower» в Чикаго США (рис. 3, з) и представляет собой сблокированные отдельные секции, решенные по оболочковой КС. Отдельные секции обладают независимой несущей способностью, могут быть объединены в любую форму и возведены до любой высоты, что является одним из достоинств таких систем. При данной КС горизонтальные нагрузки воспринимаются не только наружной стеновой коробкой, но и межсекционными стенами.

В заключение можно сделать вывод, что применение оболочковых систем является достаточно эффективным и экономически целесообразным решением [9] при строительстве высотных зданий. Использование такой системы позволяет обеспечить наибольшую жесткость и устойчивость [10], что является одним из главных требований при проектировании высотных зданий.

### Литература

1. Шумейко В.И., Кудинов, О.А. Об особенностях проектирования уникальных, большепролетных и высотных зданий и сооружений // Инженерный вестник Дона, 2013, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2164](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2164)

2. Прокопов А.Ю., Михайлов А.А. Анализ грунтовых условий зданий города Ростова-на-Дону, входящих в перечень объектов культурного наследия федерального значения// World science: problems and innovations, м-лы 16-й Междунар. конф. – Тула: ТулГУ, 2017. – Ч.3. – С. 122-125.

3. Лебедев Ю.С. Архитектурная бионика. // М., Стройиздат, 1990 – 269 с.

4. Кадомцева Е.Э., Чепурненко А.С., Симакова А.А., Фарниева М.В., Забейворота В.А. Напряжённо-деформированное состояние яйцеобразной оболочки под действием собственного веса и внутреннего давления//

---



Инженерный вестник Дона, 2018, №1. URL:  
ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4667

5. Козак Ю. Конструкции высотных зданий, перевод с чешского Г.А. Казиной. – М.: Стройиздат, 1986. -308 с.

6. Шуллер В. Конструкции высотных зданий: Перевод с англ. - Стройиздат, 1979 - 248с

7. Никора Н.И., Карамышева А.А., Языев С.Б. Расчет на устойчивость плоской формы деформирования односкатной балки. // Актуальные проблемы технических наук в России и за рубежом. - Ростов н/Д, 2015. - С. 32-35.

8. Зырянов В.В. Методы оценки адекватности результатов моделирования//Инженерный вестник Дона, 2013, №2. URL:  
ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1707.

9. Engel H. Structure Systems. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt. 1967. pp. 83-87.

10. Bochicchio V. Coordinating the design and construction of FPR / GRP chimney liners // Cicind report. – 2011. – vol. 27. No. 1. – pp. 56-61

### References

1. Shumeyko V.I., Kudinov, O.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus). 2013, №4. URL:  
ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2164

2. Prokopov A.Yu., Mikhaylov A.A. 13 Mezhdunarodnaya konferentsiya Sotsial'no-ekonomicheskie i ekologicheskie problemy gornoy promyshlennosti, stroitel'stva i energetiki (13 international conference Socio - economic and environmental problems of mining, construction and energy). Tula, 2017, pp. 139 – 147.

3. Lebedev Y.S. Arkhitekturnaya bionika [Architectural bionics]. M, Stroyizdat, 1990. p.269.



4. Kadomceva E.Ye., СHepurnenko A.S., Simakova A.A., Farnieva M.V., Zabeivorota V.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2018, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4667](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4667)
5. Yu. Kozak Konstrukcii vysotnyh zdaniy [Design of tall buildings]. Perevod s cheshskogo G.A. Kazinoi. M.:Stroiizdat, 1986. 308 p.
6. Shuller V. Konstruktsii vysotnykh zdaniy. [Design of tall buildings]. Moscow, 2004, 246 p.
7. Nikora N.I., Karamysheva A.A., Yazyev S. B. Actual problems of technical Sciences in Russia and abroad. Rostov n / D, 2015. pp. 32-35.
8. Zyryanov V.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №2. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1707](http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1707).
9. Engel H. Structure Systems. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt. 1967. pp. 83-87.
10. Bochicchio V. Cicind report. 2011. vol. 27. № 1. pp. 56-61