

Применение аутригерных этажей в высотном строительстве

А.Б. Малыгин

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва

Аннотация: На сегодняшний день строительство высотных зданий является наиболее приоритетным направлением в строительстве. Одна из проблем при строительстве высотных зданий - ветровые нагрузки, которые оказывают существенное влияние на горизонтальные перемещения. В статье приводится расчет в программном комплексе ЛИРА САПР высотного здания на ветровые нагрузки с целью определения оптимальных расположений аутригерных этажей и вид аутригерного этажа. Система аутригерных этажей служит для уменьшения смещения перекрытий от воздействия ветровых нагрузок.

Ключевые слова: Высотное здание, аутригер, ядро жесткости, аэродинамика, программный комплекс, моделирование, ветровые нагрузки.

Небоскребы можно назвать своеобразным символом современного строительства, которые поражают своим величием и технологическими решениями. Начало строительства первых высотных зданий датируется концом 19 века в США, это связано с изобретением новых технологий и новых материалов. Родоначальником небоскрёбов является «Хоум Иншуранс Билдинг», построенный в Чикаго в 1885 году (рис.1) [1]. Это было первое 10-этажное здание общей высотой 42 метра.

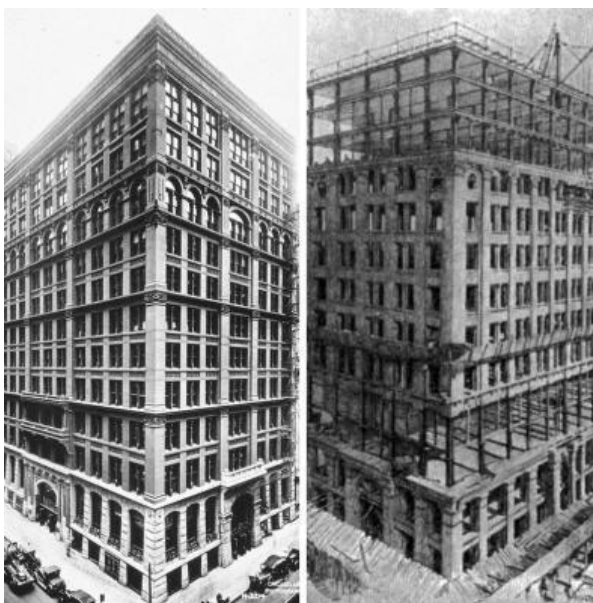


Рис. 1. Хоум Иншуранс Билдинг

Проектируются высотные здания для офисов, коммерческой недвижимости, банков [2].

При возведении зданий высотой более 40 метров, конструктивная схема, которая состоит из ядра жесткости колонн и перекрытий, как правило, становится малоэффективной, так как для создания жесткости здания необходимо увеличить расход материалов. Наиболее эффективным решением является применение горизонтальных поясов жесткости, или, как еще их называют, аутригеров за счет включения в работу наружных колонн каркаса здания.

По мере развития высотного строительства система аутригеров стала одной из наиболее популярной системой, которая дает возможность контролировать боковые смещения, за счет уменьшения опрокидывающего момента [3].

Некоторые особенности высотных зданий влияют на оптимизацию принятой конструктивной схемы. К таким особенностям можно отнести:

- Высокую нагрузку на несущие конструкции;
- Горизонтальные перемещения этажей;
- Обеспечение совместной работы бетона и металлических конструкций;
- Высокое требование пожарной безопасности здания [4].

Многоэтажные здания имеют «центральное ядро», в котором располагают лестнично-лифтовой узел (ЛЛУ), при этом эффективность работы ядра сокращается при уменьшении отношения его площади поперечного сечения к принятой высоте здания. При соотношении менее значения 0,125, в проект высотного здания необходимо вводить несущую структуру, которая получила название аутригерные этажи [5-6].

При использовании в конструкции высотного здания аутригерных этажей ветровая нагрузка, действующая на здание, частично будет

восприниматься ядром жесткости здания, а частично - восприниматься колоннами, за счет чего уменьшается горизонтальное перемещение.

Аутригерный этаж включает в себя мощные горизонтальные конструкции (металлические, железобетонные), благодаря которым «держится форма» здания в горизонтальной плоскости (рис.2) [7].



Рис. 2. Аутригерные этажи

К преимуществам применения аутригерных этажей можно отнести:

- Аутригерные системы могут применяться в различных вариантах (металлические, монолитные, с применением композитных материалов);
- Уменьшение возникающего опрокидывающего момента;
- Возможность сократить перемещение и напряжение в колоннах;
- Шаг наружных колонн не вызывает структурные изменения.

Система аутригеров в некоторых случаях могут эффективно включать силы тяжести колонн в боковую систему сопротивления ветровой нагрузке, что в свою очередь приведет к сокращению затрат [8].

К существенным недостатком при применении аутригерных этажей можно отнести их влияние на заполнение пространства этажа. Решить данную проблему возможно посредством минимизации применения аутригерных систем за счет [9]:

- Применения различных комбинаций аутригерных систем;
- Применения аутригерных систем в технических этажах высотного здания;

- Применения аутригерных систем в естественных наклонных линиях конструкций;
- Возможности наклона и смещения аутригерных систем в зависимости от функциональной планировки помещений.

В статье производится расчет высотного здания в программном комплексе ЛИРА САПР 2017, с применением метода конечных элементов (МКЭ) [10]. Конструктивная схема здания представляет собой монолитное «ядро» и каркас, выполненный из монолитных колонн. Принятые размеры колонн - 300х300 мм, толщина монолитных стен «ядра» приняты толщиной 250 мм, перекрытия монолитные - толщиной 180 мм, высота этажа - 3,0 м. Размеры в плане - 30х30м, общая высота здания - 300м.

Расчет производился для двух вариантах зданий без аутригерного этажа (рис.3) и с применением 2 аутригерных этажей на всей высоте здания (рис.4). Общий вид проектируемого здания представлен на (рис.5). В качестве аутригерной системы используются стальные балки 30Б1.

Согласно СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» приложение Л, таблица Л.2, принятое допустимое значение предельного перемещения здания или отдельных элементов согласно формуле 1 составляет 0,6 м:

$$f_u < \frac{h}{500} \quad (1)$$

Применение такой конструктивной схемы является оптимальным для такого рода зданий за счет необходимого баланса между жесткостью и гибкостью здания [11]. Так как высотные здания не «классической» квадратной формы более чувствительны к приложенным нагрузкам, для расчета было принято здание квадратной формы [12].

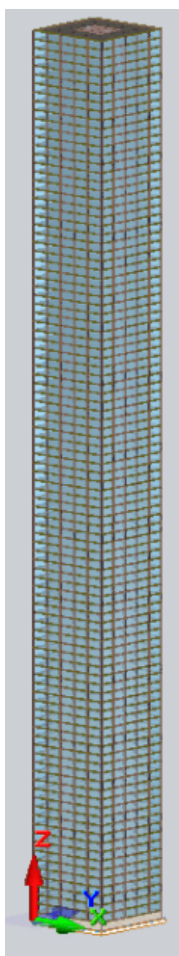


Рис. 5. Общий вид проектируемого здания

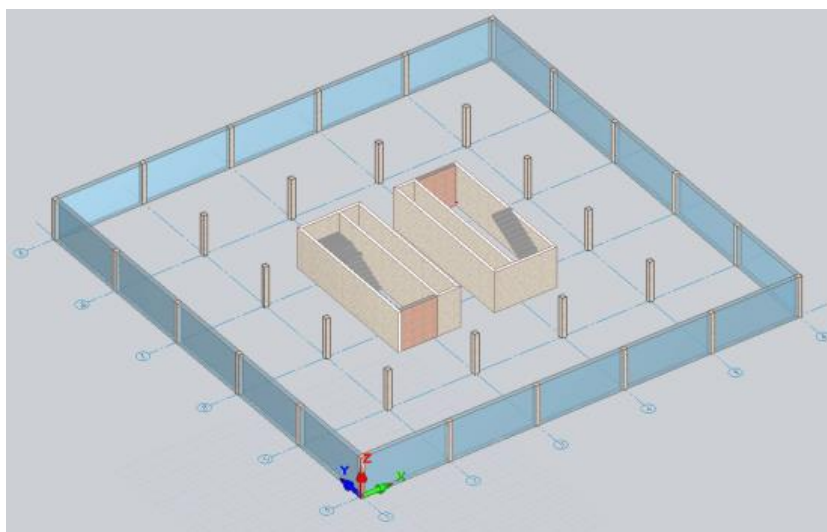


Рис. 3. Общий вид этажа без аутриггерной системы

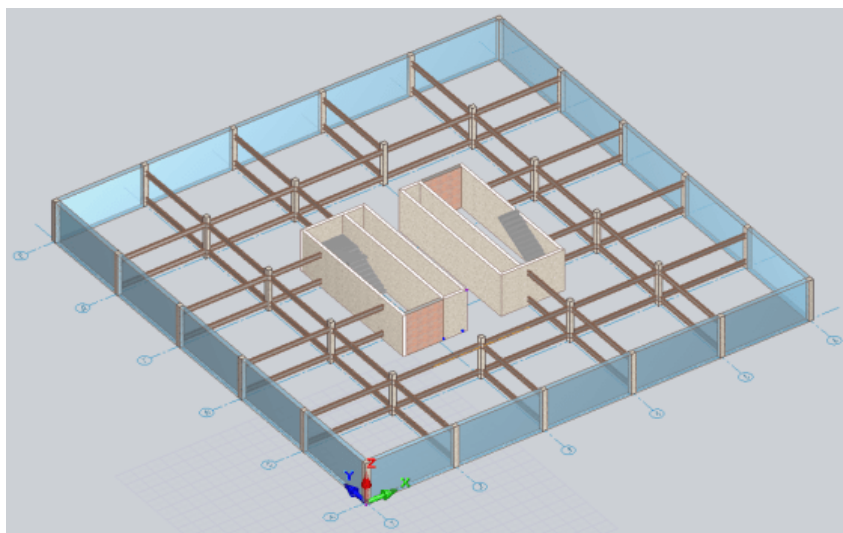


Рис. 4. Общий вид этажа с аутриггерной системой

Расчетная модель здания была нагружена постоянными и временными нагрузками согласно СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия», ветровая нагрузка рассматривалась как динамическая с разложением на две составляющие: постоянной (плавно распределенной по высоте здания) у основания здания принимается минимальная величина, по мере возрастания этажности значение нагрузки увеличивается, и кратковременная пульсация (порыв ветра) при данной составляющей значительно превосходит среднее значение ветрового потока.

Результаты расчета представлены на рис 6-9.

Здание без аутригерного этажа

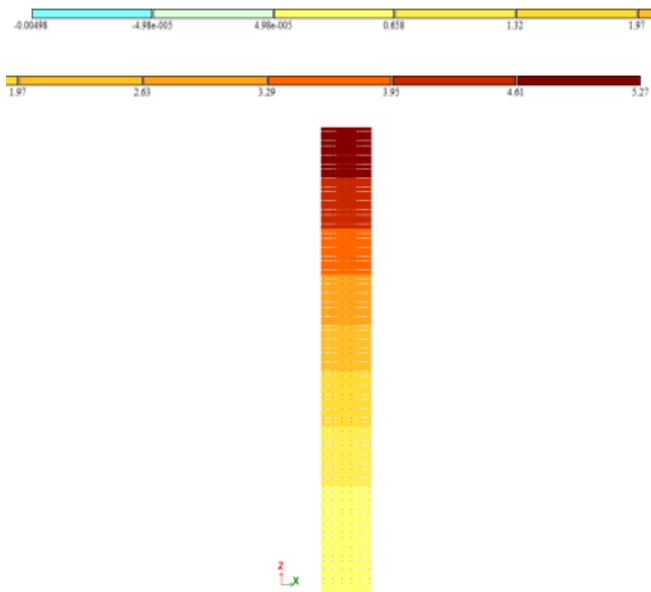


Рис. 6. Мозаика перемещений по X:
максимальное значение (5,27 м)

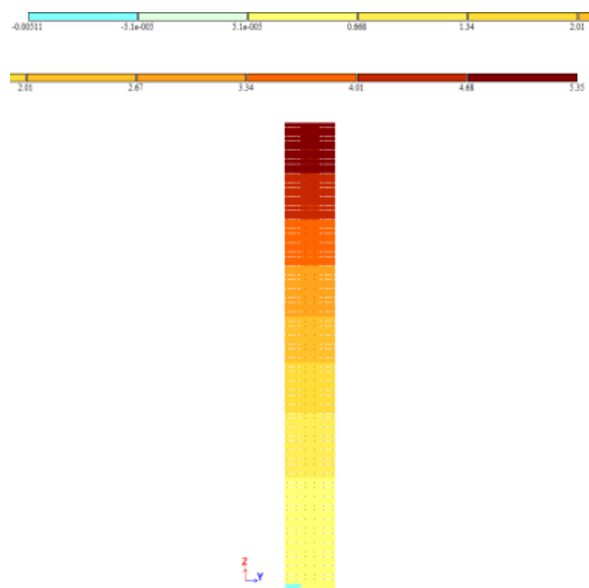


Рис. 7. Мозаика перемещений по Y:
максимальное значение (5,35 м)

Здание с аутригерным этажом

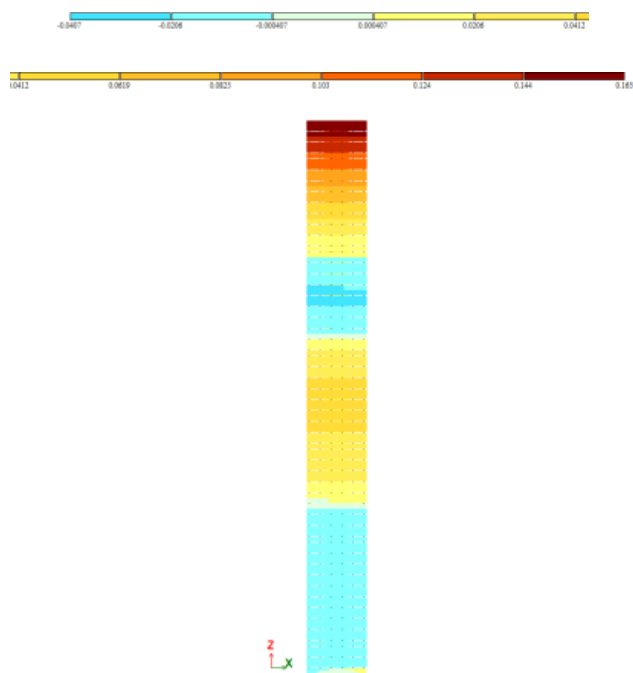


Рис. 8. Мозаика перемещений по X:
максимальное значение (0,165 м)

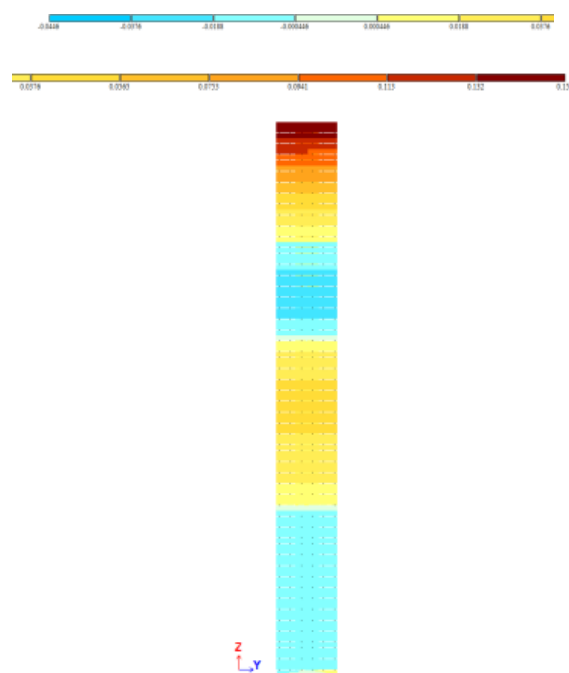


Рис. 9. Мозаика перемещений по Y:
максимальное значение (0,151 м)

Заключение

Проведя сравнительный анализ расчетных моделей, можно сделать выводы:

1. Здание без аутригерных этажей имеет огромное значение перемещения и составляет порядка 5 метров, что практически в 9 раз больше, чем нормативное значение согласно СП.
2. Применение аутригерных этажей позволило изменить максимальное перемещение и привести его в нормативный диапазон значений.
3. Оптимальным расположением аутригерных этажей в данной расчетной модели здания является 30 этаж высотного здания (1 аутригерный этаж) и 60 этаж высотного здания (2 аутригерный этаж).
4. Применение аутригерных этажей в высотном здании позволило увеличить жесткость здания.

Литература

1. Колесников А.И. Анализ истории высотного строительства в мире // Молодой ученый. 2020. №6(296). С.61-65.
2. Генералов В.П. Особенности проектирования высотных зданий: учеб. Пособие. Самара. СамГАСУ, 2009. 296 с.
3. Ali, M.M.; Moon, K.S. Structural developments in tall buildings: Current trends and future prospects. Journal Architectural Science Review. 2007. Volume 50, Issue 3, с. 205–223.
4. Щукина Н.М. Современное высотное строительство. М.: ГУП ИТЦ Москомархитектуры. 2007. 440с.
5. Хи С. Ч., Тхорнтон Т., Гоман Х., Аруп Х. К., Невилл М. Проектирование аутригерных систем // Высотные здания. 2013. №5. С. 5-8.
6. Карамышева А.А., Колотиенко М.А., Ковалев В.В., Даниленко И.Ю. Аутригеры высотных зданий // Инженерный вестник Дона.2018. №3. URL:

ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_55_Karamysheva_Kolotienko.pdf_8a48eb13ff.pdf.

7. Чернуха Н.А., Горелик П.И., Лепешкина Д.О., Червова Н.А. Оптимальное положение и конструкция аутригерных систем в высотных зданиях // Строительство уникальных зданий и сооружений, 2015, №9 (36) С. 18-32.

8. 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/uploads/article/pdf/IVD_52_Karamysheva_Arakelyan.pdf_0bb3622e90.pdf.

9. Травуш В.И., Конин Д.В. Работа высотных зданий с применением этажей жесткости (аутригеров) // Вестник ТГАСУ. 2009. №2. С. 77-91.

10. Агапов В.П. Метод конечных элементов в статике, динамике и устойчивости пространственных тонкостенных конструкций. М.: АСВ, 2000. 152 с.

11. Moon K. S. Studies on various structural system design options for twisted tall buildings and their performances. Journal Structural Design of Tall and Special Buildings. 2014. Vol. 23. Issue 5. Pp. 319-333.

12. Бирбраер А. Н., Роледер А. Ю. Экстремальные воздействия на сооружения. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2009. 600 с.

References

1. Kolesnikov A.I. Molodoj uchenyj. 2020. №6 (296). pp.61-65.

2. Generalov V.P. Osobennosti proektirovaniya visotnih zdanii [Design features of high-rise buildings]. Ucheb. Posobie. Samara. SamGASU_ 2009. 296 p.

3. Ali, M.M.; Moon, K.S. Journal Architectural Science Review. 2007. Volume 50, Issue 3, Pp. 205–223.

4. Schukina N.M. Sovremennoe visotnoe stroitelstvo [Modern high-rise construction]. M. GUP ITC Moskomarhitekturi. 2007. 440p.
5. Hi S. Ch., Thornton T., Goman H., Arup H. K., Nevill M. Visotnie zdaniya. 2013. №5. pp. 5-8.
6. Karamisheva A.A., Kolotienko M.A., Kovalev V.V., Danilenko I.Yu. Inzhenernyj vestnik Dona. 2018. №3. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_55_Karamysheva_Kolotienko.pdf_8a48eb13ff.pdf.
7. Chernuha N.A., Gorelik P.I., Lepeshkina D.O., Chervova N.A. Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij, 2015, №9 (36) pp. 18-32.
8. Karamisheva A.A., Arakelyan A.A., Ivanov N.V., Konyahin V.O., Grankina D.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2018. №4. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_52_Karamysheva_Arakelyan.pdf_0bb3622e90.pdf.
9. Travush V.I., Konin D.V. Vestnik TGASU. 2009. №2. pp. 77_91.
10. Agapov V.P. Metod konechnih elementov v statike_ dinamike i ustoichivosti prostranstvennyh tonkostennykh konstrukcii [Finite element method in statics, dynamics and stability of spatial thin-walled structures]. M. ASV 2000. 152 p.
11. Moon K. S. Journal Structural Design of Tall and Special Buildings. 2014. Vol. 23. Issue 5. Pp. 319-333.
12. Birbraer A. N., Roleder A. Yu. Ekstremalnie vozdeistviya na sooruzeniya [Extreme impacts on structures] S.Pb. Izd-vo Politehnicheskogo universiteta_ 2009. 600 p.