

Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: www.unistroy.spb.ru



Оптимальное положение и конструкция аутригерных систем в высотных зданиях

Н.А. Чернуха¹, П.И. Горелик², Д.О. Лепешкина³, Н.А. Червова⁴

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 195251,
Россия, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.

Информация о статье	История	Ключевые слова
УДК 692	Подана в редакцию 31 мая 2015	высотное здание; аутригерная система; ферма жесткости; ядро жесткости; ветровые нагрузки; конструктивная схема; горизонтальные перемещения;

АННОТАЦИЯ

Строительство небоскребов сегодня является одним из приоритетных направлений в строительстве. Ветровые нагрузки оказывают существенное влияние на горизонтальные перемещения верхней части здания. В статье рассмотрены различные конструктивные схемы небоскребов. Проведено исследование на примере здания высотой 350 м. Целью исследования является выявление оптимальной (для минимизации перемещений верхней части здания) конструкции пояса жесткости: сплошной, рамной или ферменной. Проведен расчет модели методом конечных элементов в программном комплексе SCAD Office. По результатам было выяснено, что наибольший эффект дает ферменная конструкция пояса жесткости.

Содержание

1.	Введение	19
2.	Обзор литературы	20
3.	Основная часть	21
4.	Заключение	27

Контактный автор:

- ¹ +7(906) 225 2579, chernukha.n@mail.ru (Чернуха Никита Антонович, ассистент)
- ² +7(911) 832 9436, Polina23707@gmail.com (Горелик Полина Игоревна, студент)
- ³ +7(951) 670 2564, ldasha239@mail.ru (Лепешкина Дарья Олеговна, студент)
- ⁴ +7(921) 899 7588, nikitoi@mail.ru (Червова Никита Андреевич, студент)

1. Введение

В связи с постоянно растущими ценами на землю, все большим спросом пользуются высотные здания. Высотным зданием в России со времён СССР считают здания высотой более 75 м или более 25 этажей [1]. В других странах под термином «высотное здание» обычно понимают здание высотой от 35 до 100 м [2], здания выше 100 м (в США и Европе — выше 150 м) считаются небоскрёбами [3].

Как правило, небоскребы строятся на густо застроенных территориях, где их обрушение может нанести огромный ущерб не только самому зданию и людям, находящимся в нем, но и окружающим постройкам, поэтому особенно важно обеспечить надежность конструкции. Также необходимо минимизировать затраты на строительство здания. В связи с огромной высотой, существенное влияние на здание оказывают ветровые нагрузки.

Существует несколько типов конструктивных схем высотных зданий, у каждой из которых есть свои преимущества и недостатки.

Типы конструктивных схем небоскребов (рисунок 1):

- а) бескаркасная с параллельными несущими стенами;
- б) ствольная с несущими стенами;
- в) коробчатая;
- г) с консольными перекрытиями в уровне каждого этажа;
- д) каркасная с безбалочными плитами перекрытия;
- е) с консолями высотой на этаж в уровне каждого второго этажа;
- ж) с подвешенными этажами;
- з) с фермами высотой на этаж, расположенными в шахматном порядке;
- и) рамно-каркасная;
- к) каркасно-ствольная;
- л) каркасная с решетчатыми диафрагмами жесткости;
- м) каркасная с решетчатыми горизонтальными поясами и решетчатым стволом;
- н) коробчато-ствольная (труба в трубе);
- о) многосекционная коробчатая [4].

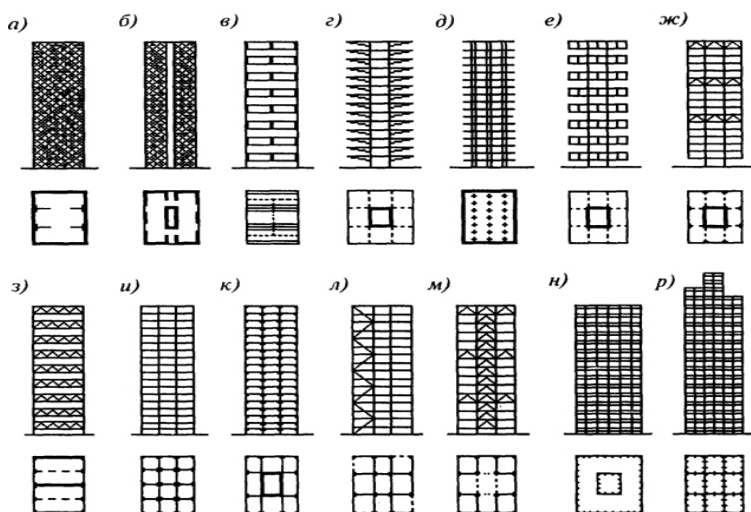


Рисунок 1. Конструктивные схемы высотных зданий.

В данной статье приведены результаты расчета на ветровую нагрузку и собственный вес здания, несущий каркас которого представлен (рисунок 3):

- ядром жесткости (лестнично-лифтовой узел с железобетонными стенами толщиной 800мм),
- междуэтажными перекрытиями (железобетон, 150мм),
- железобетонными колоннами различных сечений (1000x1000мм и 1000x2000мм),
- рассмотрено три варианта конструктивного исполнения аутригеров (расположенных на 1/3 и 2/3 здания по высоте).

Был произведен расчет на совместное действие ветровой нагрузки и собственного веса здания трех вариантов модели, отличающихся между собой только аутригерными системами.

2. Обзор литературы

В связи с постоянно растущим числом высотных зданий в мире, все больше современных ученых интересуются вопросами оптимизации конструктивной схемы небоскребов, для достижения максимальной надежности здания при минимальных затратах и максимального использования прочностных свойств материалов. В этой сфере работал, например, Шуллер В. Он систематизировал конструктивные решения зданий большой этажности, привел примеры расчетов их на прочность и перемещения при воздействии сейсмических и ветровых нагрузок, а также горизонтальных и вертикальных сил. Свой вклад внесли также Смирнов А.А., Акбиев Р.Т. и Егоров П.И.

В зданиях большой этажности существенное влияние оказывает именно ветровая нагрузка, поэтому определению ее величины придается особое значение [5-8]. Савицкий Г.А. в книге «Ветровая нагрузка на сооружения» изложил основные вопросы, связанные с расчетом сооружений различного назначения на ветровую нагрузку, рассмотрел как сопротивляются потоку простые по форме тела: трубчатые и решетчатые, и специальные конструкции: мачты и башни.

В то же время, современные ПК позволяют проводить расчет автоматически, что позволяет существенно сэкономить время и средства, но может сказаться на точности результатов [9-11]. Анализ возможностей современных ПК рассмотрены в работе Гагарина В.Г., Гувернюка С.В., и Кубенина А.С.

Методики учета ветровой нагрузки постоянно совершенствуются с целью максимального приближения компьютерных результатов к экспериментальным. В этой сфере работают: Сергей Дубинский, Травуш В.И., Конин Д.В., Владимирова Н.А.

Последствием воздействия ветровой нагрузки является существенная величина горизонтальных перемещений верха здания. Одной из наиболее распространенных мер предотвращения чрезмерных перемещений является устройство этажей жесткости. Вопросы их оптимального положения и конструкции были рассмотрены в работах Домаровой Е.В., Егоров П.И.

Травуш В.И. и Конин Д.В. рассмотрели проблемы определения рационального положения аутригера по высоте в конструкциях высотных зданий различной этажности, рационального расположения вертикальных связей в плане, а также их формы и способов прикрепления к основным элементам конструкции. Также в работе даны практические рекомендации по проектированию аутригеров в высотных зданиях [12-16]. Однако, авторы изучали только здания высотой не выше восьмидесяти этажей.

В данной статье проведено схожее исследование для здания высотой в 115 этажей.

3. Основная часть

Расчетная схема конструкции

Некоторые особенности высотных зданий существенно затрудняют выбор оптимальной конструктивной схемы небоскреба. Основными факторами, затрудняющими проектирование высотных зданий, являются:

- очень высокая нагрузка на несущие конструкции;
- высокое значение горизонтальных (в первую очередь, ветровых) нагрузок, иногда являющееся основным критерием выбора конструктивной схемы;
- проблемы обеспечения совместной работы несущих конструкций из стали и бетона;
- повышенные требования к пожарной и другим видам безопасности, существенно влияющие на выбор той или иной конструктивной схемы [17].

Все многоэтажные здания имеют хотя бы одно центральное ядро, в котором размещен лестнично-лифтовой узел, технические шахты, а иногда и жилые или общественно-деловые помещения. Эффективность работы центрального ядра убывает с уменьшением отношения площади его поперечного сечения к высоте здания. Когда это соотношение менее 0.125, необходимо задуматься о введении в несущую структуру системы поясов жесткости [18].

Любое каркасное здание можно рассматривать как систему отдельных элементов, каждый из которых выполняет определенные функции. В высотных зданиях к несущим конструкциям относятся:

- вертикальные элементы (колонны, рамы, диафрагмы и стволы жесткости), выполняющие в системе главные несущие функции, воспринимая все действующие на здание нагрузки с передачей их на фундамент;
- горизонтальные элементы (плиты и балки перекрытий, горизонтальные связи), обеспечивающие геометрическую неизменяемость системы, а также передающие приложенные к ним нагрузки на вертикальные элементы, выступая в качестве распределительных горизонтальных дисков.

Введение поясов жесткости позволяет изменять площадь и геометрию центрального ядра в более широких пределах. В случаях невозможности использования обычных аутригерных систем (например, в

связи с ограниченностью внутреннего пространства здания или особенностями расположения колонн), применяют так называемые виртуальные аутригеры, или опоясывающие ферменные конструкции. В этом случае наружные колонны взаимодействуют с ядром жесткости через опоясывающие ферменные конструкции и диафрагмы потолочных перекрытий, расположенные вровень с верхним и нижним уровнями каждой ферменной структуры [18].

В статье выполнен расчет здания с конструктивной схемой «ядро и каркас», состоящей из ядра жесткости (железобетонные стены толщиной 800мм), несущих колонн сечений 1000х1000 мм и 2000х1000 мм, междуэтажных перекрытий из железобетона толщиной 150мм. Общая высота здания 350 м. Размеры в плане 60х60м (рисунки 2-4).

Такая конструктивная схема является оптимальной для зданий общественно-делового назначения, так как позволяет менять объемно-планировочные решения помещений в широком диапазоне, а также обеспечивает необходимый баланс между жесткостью и гибкостью здания [18]. Современные высотные здания нестандартной формы оказываются более чувствительными к нагрузкам [19-22], поэтому для расчета выбрано здание, имеющее в плане квадратную форму. Аутригеры расположены на высоте на 1/3 и 2/3 максимальной, так как это положение является наиболее оптимальным [23]. Верхний аутригер имеет высоту 3м и занимает один этаж, нижний – 6м и занимает два этажа (рисунок 4).

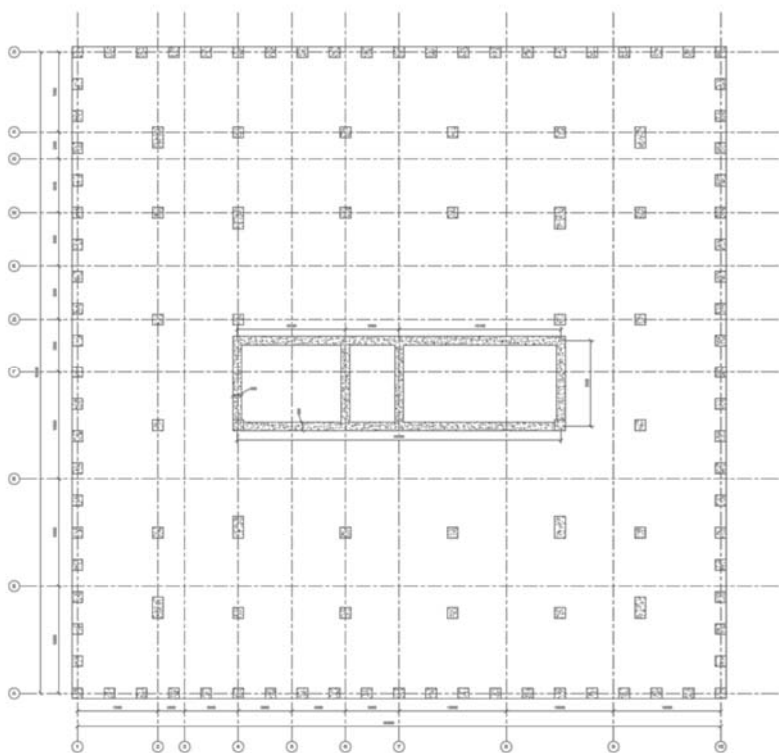


Рисунок 2 . Конструктивная схема здания в плане.

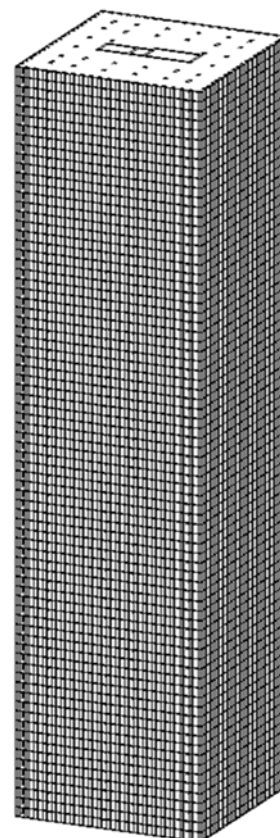


Рисунок 3. Расчетная схема здания.
Общий вид.

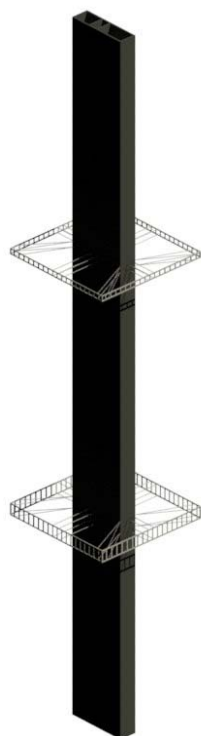


Рисунок 4. Общий вид аутригерной системы.

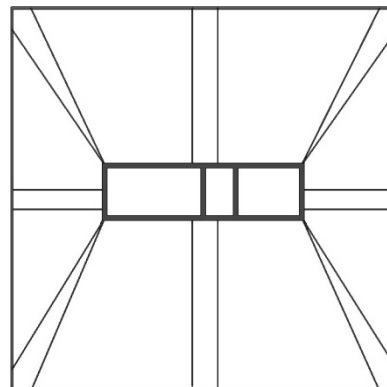


Рисунок 5. Схема соединения аутригеров с ядром жесткости

Цель работы состоит в выяснении типа конструкции аутригера, обеспечивающего максимальную защиту конструкции от ветровых нагрузок (существеннее прочих уменьшающего амплитуду вынужденных колебаний верха здания).

Схема соединения аутригеров с ядром жесткости видна на рисунке 5.

Были рассмотрены три типа аутригеров:

- Сплошной (железобетон толщиной 200мм) (рисунок 6)
- Рамный (железобетон) (рисунок 7)
- Ферменный (железобетон) (рисунок 8)



Рисунок 6. Сплошной аутригер.



Рисунок 7. Рамный аутригер.



Рисунок 8. Ферменный аутригер.

Методы исследования воздействия ветровой нагрузки на здания

Наиболее существенной нагрузкой из временных для многоэтажных зданий является ветровая нагрузка. Это вызвано использованием в строительстве высотных зданий стальных и облегченных железобетонных конструкций для снижения веса сооружения и снятия вызванных им ограничений на высоту зданий. Однако такие меры привели к существенному снижению жесткости здания. Таким образом все горизонтальные, а особенно ветровые, нагрузки приобрели особое значение.

Расчет сооружения на воздействие ветра может быть выполнен компьютерным методом или путем исследования масштабной модели здания в аэротрубе [24].

Для компьютерного расчета зданий существует множество различных программ: Patran, Nastran, ANSYS CFX, Abaqus, FLUENT, STAR CCM+, SCADOffice, Lira и множество других.

Преимуществами компьютерного расчета перед испытаниями в аэротрубе являются быстрота и меньшая трудоемкость. Однако результаты такого расчета не всегда являются точными.

Наиболее близкие к действительности результаты расчета зданий на ветровую нагрузку дают испытания в аэродинамической трубе, однако, такие испытания являются весьма дорогостоящими [25-29].

Существующие в настоящее время технологии математического моделирования ветровых воздействий на здания и сооружения позволяют получать распределение средней составляющей аэродинамической нагрузки, соответствующее реальному, только для масштабных моделей, сравнимых по размеру с используемыми в аэрофизических экспериментах. Результаты таких модельных расчетов допустимо применять для прогноза ветровых нагрузок, однако наиболее рациональным является подход, сочетающий преимущества экспериментального и компьютерного моделирования в одном проекте.

Сбор нагрузок

Собственный вес

Собственный вес – постоянная нагрузка, вызванная воздействием веса конструкций здания друг на друга и на самих себя. Расчет выполнен автоматически. Собственный вес конструкций может оказывать существенное влияние на напряжения и перемещения конструкций, поэтому его необходимо учитывать при расчете всех конструкций.

Ветровая нагрузка

Ветер является динамической нагрузкой и имеет три составляющие:

- Постоянная (плавно изменяющаяся по высоте: у самой поверхности земли она минимальна из-за торможения воздушного потока, а с возрастанием высоты увеличивается, стремясь к некоторому постоянному значению).

- Кратковременные пульсации (порывы ветра), при которых скорость может заметно превосходить среднюю величину. Пульсационная составляющая ветрового потока вызывает колебания многоэтажного здания. Величина пульсационной составляющей ветровой нагрузки в плоскости потока зависит от изменчивости пульсаций скорости.

- В случае гибкой конструкции происходит взаимовлияние свободных колебаний сооружения и ветровой нагрузки, т.е. не только перемещения конструкции зависят от ветровой нагрузки, но и сама нагрузка зависит от перемещений. Конструкции, которые обладают таким свойством, называют аэроупругими. Следствием аэроупругости может явиться возникновение самовозбуждающихся колебаний (автоколебаний), а также аэродинамическая неустойчивость конструкции [30].

Рассмотрен расчет каркаса здания по пространственной плитно-стержневой схеме с учетом ветровых воздействий и собственного веса конструкций методом конечных элементов (МКЭ) в программе SCAD Office. Получены горизонтальные перемещения узлов с учетом пульсационной составляющей ветровой нагрузки.

Расчет постоянной составляющей

Расчет выполнен по нормам проектирования "СНиП 2.01.07-85* с изменением №2" программой BeCT (32-бит), версия: 11.5.1.1 от 03.09.2011. См. приложение 1.

Расчет пульсационной составляющей ветровой нагрузки

Расчет выполнен на основании указаний [30].

Будем считать, что здание является линейным неконсервативным осциллятором (имеет одну степень свободы) с большой первой собственной частотой. Тогда пульсационная ветровая нагрузка определяется как для твердого тела, т.е. без учета собственных колебаний ω_p :

$$\omega_p(z) = \omega_m(z) \cdot \xi(z) \cdot V,$$

где $\omega_m(z)$ – нормативное значение постоянной составляющей ветровой нагрузки,

$\xi(z)$ - коэффициент пульсаций давления ветра на высоте z , табличная величина,

V - коэффициент пространственной корреляции пульсаций ветра, учитывающий тот факт, что в разных точках конструкции его максимальная скорость достигается не одновременно.

$\omega_{p1}(z) = -0.0187 \text{ т/м}^2$ – максимальная нагрузка на подветренной стороне, $\omega_{p2}(z) = 0.0251 \text{ т/м}^2$ – на наветренной стороне.

При использовании такой схематизации сооружения, распределение ω_p по высоте здания аналогично распределению ω_m .

Оценка необходимости учета вихревого возбуждения

Эта необходимость определяется по двум критериям. Первый – это гибкость сооружения, характеризуемая соотношением его размеров. Согласно европейским нормам, вихревое возбуждение необходимо учитывать, если в плоскости, перпендикулярной направлению ветра, отношение максимального размера конструкции к минимальному больше 6. По российским нормам его надо учитывать, если отношение высоты сооружения к минимальному размеру поперечного сечения на уровне 2/3 высоты

больше 10. Вторым критерий – величина критической скорости ветра. Вихревое возбуждение необходимо учесть, если выполнено условие $V_m/V_{кр,i} > 1.25$.

Таким образом, в данном случае учет вихревого возбуждения не требуется.

Две составляющие ветровой нагрузки, а именно: среднюю и пульсационную, следует суммировать алгебраически.

Результат расчета трех вариантов модели в SCAD Office

При расчете моделей были получены следующие горизонтальные перемещения:



Рисунок 10. Ферменный аутригер

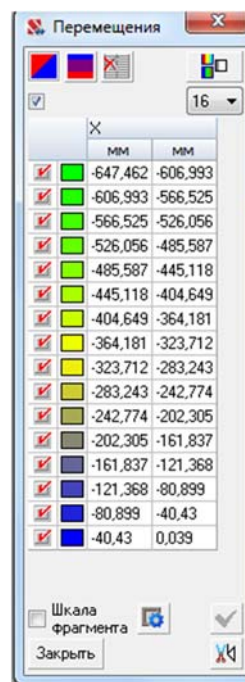


Рисунок 11. Рамный аутригер

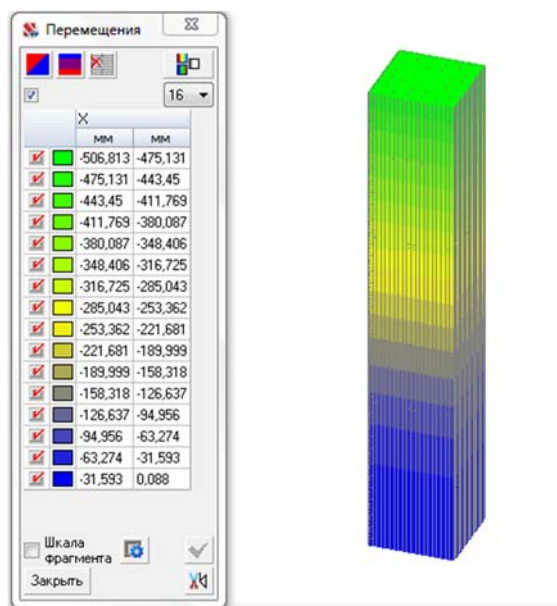


Рисунок 12. Сплошной аутригер

На диаграммах горизонтальные перемещения показаны с помощью цвета, а также представлена шкала соответствия цветового отображения численному. Расчет показал, что ферменная конструкция аутригера, в данном случае, является наиболее оптимальной. При использовании различных типов опоясывающих конструкций, перемещения могут отличаться в полтора раза, что подтверждает важность выбора конструктивной схемы аутригера.

4. Заключение

В ходе проведенного исследования и расчетов высотного здания было определено, что использование ферменной конструкции аутригеров будет оптимальным. Устройство пояса жесткости в здании позволяет уменьшить горизонтальные перемещения по всей высоте и в его верхней части и свести к минимуму колебания, возникающие от воздействия ветровой нагрузки. Использование эффективной конструкции аутригера позволяет существенно увеличить жесткость здания, сократить стоимость конструкции, благодаря уменьшению толщины ядра здания и площади армирования, необходимых в случае недостатка жесткости.

Литература

- [1]. Grande E., Imbimbo M., Testa R. B. (2014). New York Times building: Role of selected features. 2014. Journal of Architectural Engineering. Vol. 20. Issue 1. Pp. 45-46.
- [2]. Moon K. S. (2014). Studies on various structural system design options for twisted tall buildings and their performances. 2014. Structural Design of Tall and Special Buildings. Vol. 23. Issue 5. Pp. 319-333.
- [3]. Moon K. (2013). Optimal structural configurations for tall buildings. 2013. Proceedings of the 13th East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction, EASEC 2013. Pp. 354-355.
- [4]. Горев В. В., Уваров Б. Ю., Филиппов В. В., Белый Г. И., Валь В. Н., Енджиевский Л. В., Крылов И. И., Ольков Я. И., Сабуров В. Ф. Металлические конструкции. Том 1. М.: Высшая школа, 2002.
- [5]. Li Q. S., Wu J. R., Fu J. Y., Li Z. N., Xiao Y. Q. (2010). Wind effects on the world's tallest reinforced concrete building. 2010. Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Structures and Buildings. Vol. 163 Issue 2. Pp. 97-110.
- [6]. Ruo-Qiang F., Jihong Y., Yan G., Qing-Xiang L., Bin Y. (2013). Wind-induced torsion vibration of the super high-rise building of Shenzhen Energy Center. 2013. Structural Design of Tall and Special Buildings. Vol. 22. Issue 10. Pp. 802-815.
- [7]. Kelly D., Poon D., Irwin P., Xie J. (2013). Wind engineering of the shanghai center tower. 2013. Advances in Hurricane Engineering: Learning from Our Past - Proceedings of the 2012 ATC and SEI Conference on Advances in Hurricane Engineering. Pp. 426-436.
- [8]. Deng K., Pan P., Lam A., Xue Y. (2014). A simplified model for analysis of high-rise buildings equipped with hysteresis damped outriggers. 2014. Structural Design of Tall and Special Buildings. Vol. 23. Issue 15. Pp. 1158-1170.
- [9]. Rahgozar R., Ahmadi A. R., Ghelichi M., Goudarzi Y., Malekinejad M., Rahgozar P. (2014). Parametric stress distribution and displacement functions for tall buildings under lateral loads. 2014. Structural Design of Tall and Special Buildings. Vol. 23. Issue 1. Pp. 22-41.
- [10]. Aydinoglu M. N. (2014). Challenges and Problems in Performance-Based Design of Tall Buildings. 2014. Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering. Vol. 32. Pp. 279-300.
- [11]. Wang H., Qian H., Fan F., Zhi X. (2014). Analysis and control method of optimum scheduling of outrigger-brace installation for super high-rise buildings. 2014. China Civil Engineering Journal. Vol. 47. Issue 7. Pp. 1-8.
- [12]. Wang B., Chen Y., Zhao X. (2014). A simplified model on strength and stiffness of outrigger truss in super high-rise structure. 2014. Journal of Tongji University. Vol. 42. Issue 3. Pp. 358-364.
- [13]. Rahgozar R., Ahmadi A. R., Ghelichi M., Goudarzi Y., Malekinejad M., Rahgozar P. (2014). Parametric stress distribution and displacement functions for tall buildings under lateral loads. 2014. Structural Design of Tall and Special Buildings. Vol. 23 Issue 1. Pp. 22-41.
- [14]. Lee S., Tovar A. (2014). Outrigger placement in tall buildings using topology optimization. 2014. Engineering Structures. Vol. 74. Pp. 122-129.
- [15]. Wu H., Ding J., Cui J., Zhang B. (2014). Study on energy dissipation technology and connection design for outriggers and belt members of super high-rise buildings. 2014. Journal of Building Structures. Vol. 35. Issue 3. Pp. 8-15.
- [16]. Asai T., Chang C. M., Phillips B. M., Spencer B. F. (2013). Real-time hybrid simulation of a smart outrigger damping system for high-rise buildings. 2013. Engineering Structures. Vol. 57. Pp. 177-188.
- [17]. Современное высотное строительство. М.: ГУП ИТЦ Москомархитектуры. 2007. С. 144-148.
- [18]. Хи С. Ч., Тхорнтон Т., Гоман Х., Аруп Х. К., Невилл М. Проектирование аутригерных систем // Высотные здания. 2013. №5. С. 5-8.
- [19]. Moon K. S. (2014). Studies on various structural system design options for twisted tall buildings and their performances. 2014. Structural Design of Tall and Special Buildings. Vol. 23. Issue 5. Pp. 319-333.
- [20]. Moon K. (2013). Optimal structural configurations for tall buildings. 2013. Proceedings of the 13th East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction, EASEC 2013. Pp. 354-355.

- [21]. Moon K. S. (2013). Outrigger structures for twisted, tilted and tapered tall buildings. 2013. Structures and Architecture: Concepts, Applications and Challenges - Proceedings of the 2nd International Conference on Structures and Architecture, ICISA 2013. pp. 785-790.
- [22]. Chan C. M., Huang M. F., Kwok K. C. S. (2010). Integrated wind load analysis and stiffness optimization of tall buildings with 3D modes. 2010. Engineering Structures. Vol. 32. Issue 5. Pp. 1252-1261.
- [23]. Травуш В. И., Конин Д. В. Работа высотных зданий с применением этажей жесткости (аутригеров) // Вестник ТГАСУ. 2009. № 2. С. 83.
- [24]. Стрелков К. Трубы для небоскребов // Наука и жизнь. 2008. №11. [электронный ресурс] URL: http://elementy.ru/lib/430693?page_design=print (дата обращения 12.04.2015).
- [25]. Гагарин В. Г., Гувернюк С. В., и Кубенин А. С. О достоверности компьютерных прогнозов при определении ветровых воздействий на здания и комплексы // Жилищное строительство. 2014. № 7. С. 2-4.
- [26]. Liang S., Zou L., Wang D., Huang G. (2014). Analysis of three-dimensional equivalent static wind loads of symmetric high-rise buildings based on wind tunnel tests. 2014. Wind and Structures, An International Journal. Vol. 19. Issue 5. Pp. 565-583.
- [27]. Zhang Y., Sarkar P., Hu H. (2014). An experimental study on wind loads acting on a high-rise building model induced by microburst-like winds. 2014. Journal of Fluids and Structures. Vol. 50. Pp. 547-564.
- [28]. Isaev S. A., Baranov P. A., Zhukova Y. V., Tereshkin A. A., Usachov A. E. (2014). Simulation of the wind effect on an ensemble of high-rise buildings by means of multiblock computational technologies. 2014. Journal of Engineering Physics and Thermophysics. Vol. 87. Issue 1. Pp. 112-123.
- [29]. Franek M., Žilinský J. (2014). Interference effects on high-rise buildings – Overview of the recent research. 2014. Advanced Materials Research. Vol. 1057. Pp. 105-112.
- [30]. Бирбраер А. Н., Роледер А. Ю. Экстремальные воздействия на сооружения. С-Пб.: Изд-во Политехнического университета, 2009. С. 370-389.

Optimal outrigger system placement and configuration for high-rise building

N.A. Chernukha¹, P.I. Gorelik², D.O. Lepeshkina³, N.A. Chervova⁴.

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Polytechnicheskaya st., St.Petersburg, 195251, Russia.

ARTICLE INFO

scientific article

Article history

Received 31 May 2015

Keywords

high-rise buildings;
outrigger systems;
truss-stiffened;
stiffening core;
wind load;
structural scheme;
horizontal displacement;

ABSTRACT

Engineering of high-rise building is one of construction sector priorities today. Wind loads have significant impact on upper part of a building horizontal displacement. In this article different high-rise building structural schemes are presented. Analysis of 350-meter-high building was done. The main goal of the research is determination of optimal stiffener ring structural scheme among solid wall, frame and truss structure. Calculation of model was conducted with the help of SCAD Office software system, which use finite-element analysis. According to results, the most effective stiffener ring structure is truss structure.

Corresponding author:

1. +7(906) 225 2579, chernukha.n@mail.ru (Nikita Antonovich Chernukha, Assistant)
2. +7(911) 832 9436, Polina23707@gmail.com (Polina Igorevna Gorelik, Student)
3. +7(951) 670 2564, Idasha239@mail.ru (Daria Olegovna Lepeshkina, Student)
4. +7(921) 899 7588, nikitoi@mail.ru (Chervova Nikita Andreevich, Student)

References

- [1]. Grande E., Imbimbo M., Testa R. B. (2014). New York Times building: Role of selected features. 2014. Journal of Architectural Engineering. Vol. 20. Issue 1. Pp. 45-46.
- [2]. Moon K. S. (2014). Studies on various structural system design options for twisted tall buildings and their performances. 2014. Structural Design of Tall and Special Buildings. Vol. 23. Issue 5. Pp. 319-333.
- [3]. Moon K. (2013). Optimal structural configurations for tall buildings. 2013. Proceedings of the 13th East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction, EASEC 2013. Pp. 354-355.
- [4]. Gorev V. V., Uvarov B. Yu., Filippov V. V., Belyiy G. I., Val V. N., Endzhievskiy L. V., Krylov I. I., Olkov Ya. I., Saburov V. F. Metallicheskie konstruksii. Tom 1 [Metal structures. Part 1]. Moscow: Vysshaya shkola, 2002. (rus)
- [5]. Li Q. S., Wu J. R., Fu J. Y., Li Z. N., Xiao Y. Q. (2010). Wind effects on the world's tallest reinforced concrete building. 2010. Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Structures and Buildings. Vol. 163 Issue 2. Pp. 97-110.
- [6]. Ruo-Qiang F., Jihong Y., Yan G., Qing-Xiang L., Bin Y. (2013). Wind-induced torsion vibration of the super high-rise building of Shenzhen Energy Center. 2013. Structural Design of Tall and Special Buildings. Vol. 22. Issue 10. Pp. 802-815.
- [7]. Kelly D., Poon D., Irwin P., Xie J. (2013). Wind engineering of the shanghai center tower. 2013. Advances in Hurricane Engineering: Learning from Our Past - Proceedings of the 2012 ATC and SEI Conference on Advances in Hurricane Engineering. Pp. 426-436.
- [8]. Deng K., Pan P., Lam A., Xue Y. (2014). A simplified model for analysis of high-rise buildings equipped with hysteresis damped outriggers. 2014. Structural Design of Tall and Special Buildings. Vol. 23. Issue 15. Pp. 1158-1170.
- [9]. Rahgozar R., Ahmadi A. R., Ghelichi M., Goudarzi Y., Malekinejad M., Rahgozar P. (2014). Parametric stress distribution and displacement functions for tall buildings under lateral loads. 2014. Structural Design of Tall and Special Buildings. Vol. 23. Issue 1. Pp. 22-41.
- [10]. Aydinoglu M. N. (2014). Challenges and Problems in Performance-Based Design of Tall Buildings. 2014. Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering. Vol. 32. Pp. 279-300.
- [11]. Wang H., Qian H., Fan F., Zhi X. (2014). Analysis and control method of optimum scheduling of outrigger-brace installation for super high-rise buildings. 2014. China Civil Engineering Journal. Vol. 47. Issue 7. Pp. 1-8.
- [12]. Wang B., Chen Y., Zhao X. (2014). A simplified model on strength and stiffness of outrigger truss in super high-rise structure. 2014. Journal of Tongji University. Vol. 42. Issue 3. Pp. 358-364.
- [13]. Rahgozar R., Ahmadi A. R., Ghelichi M., Goudarzi Y., Malekinejad M., Rahgozar P. (2014). Parametric stress distribution and displacement functions for tall buildings under lateral loads. 2014. Structural Design of Tall and Special Buildings. Vol. 23 Issue 1. Pp. 22-41.
- [14]. Lee S., Tovar A. (2014). Outrigger placement in tall buildings using topology optimization. 2014. Engineering Structures. Vol. 74. Pp. 122-129.
- [15]. Wu H., Ding J., Cui J., Zhang B. (2014). Study on energy dissipation technology and connection design for outriggers and belt members of super high-rise buildings. 2014. Journal of Building Structures. Vol. 35. Issue 3. Pp. 8-15.
- [16]. Asai T., Chang C. M., Phillips B. M., Spencer B. F. (2013). Real-time hybrid simulation of a smart outrigger damping system for high-rise buildings. 2013. Engineering Structures. Vol. 57. Pp. 177-188.
- [17]. Sovremennoe vyisotnoe stroitelstvo [Modern high-rise construction]. Moscow: GUP ITZ Moscomarhitektury, 2007. Pp. 144-148. (rus)
- [18]. Hi S. C., Thornton T., Goman H., Arup H. K., Nevill M. Proektirovanie autrigernykh sistem [Outrigger system engineering]. Vyisotnyye zdaniya, 2013. No.5. Pp. 5-8. (rus)
- [19]. Moon K. S. (2014). Studies on various structural system design options for twisted tall buildings and their performances. 2014. Structural Design of Tall and Special Buildings. Vol. 23. Issue 5. Pp. 319-333.
- [20]. Moon K. (2013). Optimal structural configurations for tall buildings. 2013. Proceedings of the 13th East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction, EASEC 2013. Pp. 354-355.
- [21]. Moon K. S. (2013). Outrigger structures for twisted, tilted and tapered tall buildings. 2013. Structures and Architecture: Concepts, Applications and Challenges - Proceedings of the 2nd International Conference on Structures and Architecture, ICSA 2013. pp. 785-790.

- [22]. Chan C. M., Huang M. F., Kwok K. C. S. (2010). Integrated wind load analysis and stiffness optimization of tall buildings with 3D modes. 2010. Engineering Structures. Vol. 32. Issue 5. Pp. 1252-1261.
- [23]. Travush V. I., Konin D. V. Rabota vyisotnykh zdaniy s primeneniem etazhey zhestkosti (autriggerov) [High-rise buildings with stiffening rings (outriggers)]. Vestnik TGASU. 2009. No. 2. Pp. 83. (rus)
- [24]. Strelkov K. Trubyi dlya neboskrebov [Windtunnels for scyscraper]. Nauka i zhizn. 2008, No.11. Available: http://elementy.ru/lib/430693?page_design=print (Accessed 12.04.2015).
- [25]. Gagarin V. G., Guvernuyuk S. V., i Kubenin A. S. O dostovernosti kompyuternykh prognozov pri opredelenii vetrovykh vozdeystviy na zdaniya i kompleksey [Computerized calculation of wind load influence on buildings and complexes accuracy]. Zhilishchnoe stroitelstvo, 2014. No. 7. Pp. 2-4. (rus)
- [26]. Liang S., Zou L., Wang D., Huang G. (2014). Analysis of three-dimensional equivalent static wind loads of symmetric high-rise buildings based on wind tunnel tests. 2014. Wind and Structures, An International Journal. Vol. 19. Issue 5. Pp. 565-583.
- [27]. Zhang Y., Sarkar P., Hu H. (2014). An experimental study on wind loads acting on a high-rise building model induced by microburst-like winds. 2014. Journal of Fluids and Structures. Vol. 50. Pp. 547-564.
- [28]. Isaev S. A., Baranov P. A., Zhukova Y. V., Tereshkin A. A., Usachov A. E. (2014). Simulation of the wind effect on an ensemble of high-rise buildings by means of multiblock computational technologies. 2014. Journal of Engineering Physics and Thermophysics. Vol. 87. Issue 1. Pp. 112-123.
- [29]. Franek M., Žilinský J. (2014). Interference effects on high-rise buildings – Overview of the recent research. 2014. Advanced Materials Research. Vol. 1057. Pp. 105-112.
- [30]. Birbraer A. N., Roleder A. Yu. Ekstremalnyye vozdeystviya na sooruzheniya [Extreme affection on constructions]. Saint-Petersburg.: Izd-vo Politehnicheskogo universiteta, 2009. Pp. 370-389. (rus)

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

Chernukha N.A., Gorelik P.I., Lepeshkina D.O., Chervova N.A. Optimal outrigger system placement and configuration for high-rise building. Construction of Unique Buildings and Structures, 2015, 9(36), Pp. 18-32. (rus)