

05.23.01 СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

Эффективность конструктивных решений аутригерных этажей высотного здания

УДК 69.04

Панасюк Л.Н.

Д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Техническая механика» ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (г. Ростов-на-Дону); e-mail: panasjuk.leonid@gmail.com

Кравченко Г.М.

Канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Техническая механика» ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (г. Ростов-на-Дону); e-mail: Galina.907@mail.ru

Труфанова Е.В.

Канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Техническая механика» ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (г. Ростов-на-Дону); e-mail: El.Trufanova@mail.ru

Бойко А.Г.

Магистрант, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», (г. Ростов-на-Дону); e-mail: boykonastya@bk.ru

Статья получена: 21.07.2019. Рассмотрена: 25.09.2019. Одобрена: 28.09.2019. Опубликовано онлайн: 26.11.2019. ©РИОР

Аннотация. Предложен подход к выбору оптимальной конструкции каркаса высотного здания и расположения аутригерных этажей. Рассмотрены пять вариантов расчетных моделей каркаса с варьированием количества и расположения аутригерных этажей. Приняты два конструктивных решения аутригеров, объединяющих колонны по периметру здания связующих этажей в виде ферм и монолитных стен. В качестве критериев эффективного расположения и оптимального конструктивного решения каркаса здания приняты нор-

мируемые характеристики общей устойчивости каркаса, ускорение верхнего этажа от действия динамической составляющей ветровой нагрузки, характер форм и спектр частот собственных колебаний. По результатам исследований предложена оптимальная конструктивная схема высотного здания с рациональным расположением аутригеров.

Ключевые слова: высотное здание, аутригерный этаж, динамическая комфортность, метод конечных элементов, конечно-элементная модель.

EFFICIENCY OF DESIGN SOLUTIONS OF HIGH-RISE OUTRIGGER FLOORS

Leonid Panasjuk

Doctor of Engineering, Professor, Department of Mechanical Engineering, Don State Technical University, Rostov-on-Don; e-mail: panasjuk.leonid@gmail.com

Galina Kravchenko

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Don State Technical University, Rostov-on-Don; e-mail: galina.907@mail.ru

Elena Trufanova

Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Don State Technical University, Rostov-on-Don; e-mail: el.trufanova@mail.ru

Anastasiya Boyko

Master's Degree Student, Don State Technical University, Rostov-on-Don; e-mail: boykonastya@bk.ru

Manuscript received: 21.07.2019. **Revised:** 25.09.2019. **Accepted:** 28.09.2019. **Published online:** 26.11.2019. ©РИОР

Abstract. An approach to the choice of the optimal design of the frame of a high-rise building and the location of the outrigger floors is proposed. Five variants of the design models of the frame with varying the number and location of the outrigger floors are considered. Taken two design decisions outriggers, uniting columns at the perimeter of the building connecting floors in the form of farms and monolithic walls. As criteria of an effective arrangement and the optimum constructive decision of a skeleton of a building the characteristics of the General stability of a skeleton, acceleration of the top floor from action of a dynamic component of a wind load, character of forms and a spectrum of frequencies of natural fluctuations are accepted. According to the results of the study, an optimal design scheme of a high-rise building with a rational location of outriggers is proposed.

Keywords: high-rise building, outrigger floor, dynamic comfort, finite element method, finite element model.

В условиях плотной городской застройки современных городов высотное строительство развивается быстрыми темпами. При проектировании высотных зданий необходимо обеспечить прочность и общую устойчивость. Один из способов повышения прочности и устойчивости является применение аутригерных этажей. Для каждого здания форма и расположения аутригерного этажа устанавливается индивидуально, но чаще всего такие этажи располагают на технических этажах [1].

Цель исследования — определение наиболее оптимальной конструкции и расположения аутригерных этажей в каркасе высотного здания. В качестве критериев эффективного расположения и оптимального конструктивного решения приняты нормируемые характеристики общей устойчивости каркаса здания, ускорение верхнего этажа от действия динамической составляющей ветровой нагрузки, характер форм и спектр частот собственных колебаний [2].

Объектом исследования является пространственный каркас высотного жилого здания в г. Ростове-на-Дону, представляющий собой пространственную плитно-стержневую конструкцию, выполненную из железобетонных колонн, стен, диафрагм жесткости и плит перекрытий. Пространственная расчетная модель разработана методом конечных элементов в программном комплексе Лира-САПР (рис. 1) [3–4].

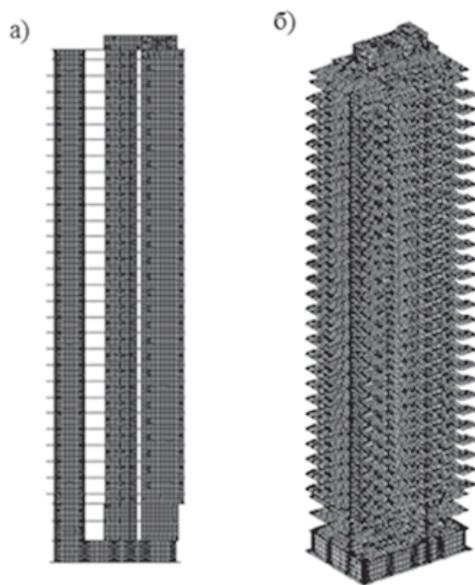


Рис. 1. Конечно-элементная модель: а) проекция на плоскость XZ , б) 3D-модель здания

Предложено два вида виртуальных аутригерных систем: в виде фермы, объединяющих колонны по периметру здания (рис. 2, а) и монолитных стен, объединяющих колонны по периметру здания (рис. 2, б) [5].

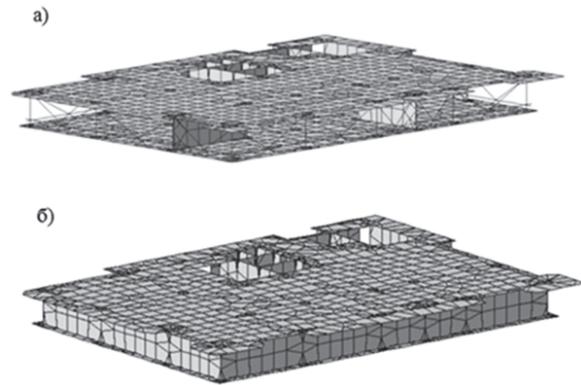


Рис. 2. Расчетные схемы аутригерных этажей: а) в виде железобетонных ферм; б) в виде монолитных железобетонных стен

Применение предложенных конструктивных решений аутригерных систем устраняет необходимость в устройстве сложных соединений аутригеров с колоннами и центральным ядром, сводя к минимуму возможность случайной передачи нагрузки, возникающей из-за неравномерных деформаций между периметром и центральным ядром.

Рассмотрено пять вариантов конструктивной схемы каркаса здания:

- без аутригерных этажей;
- два аутригерных этажа на технических этажах в виде ферм;
- два аутригерных этажа на технических этажах в виде стен;
- один аутригерный этаж на последнем этаже в виде ферм;
- один аутригерный этаж на последнем этаже в виде стен.

В расчетных моделях учтены статические и динамические нагрузки: собственный вес конструкций здания, снеговая нагрузка на покрытие, полезная нагрузка, ветровая нагрузка [6]. Граничные условия задаются в опорных узлах стержней и стеновых пластин в виде жесткой заделки.

Выполнены расчеты на общую устойчивость: получены формы потери и коэффициенты запаса устойчивости [7]. В табл. 1 сведены коэф-

коэффициенты запаса устойчивости в зависимости от конструктивной схемы здания.

Таблица 1

Коэффициенты запаса устойчивости

Вариант расчетной схемы	1	2	3	4	5
Коэффициент запаса устойчивости	10,48	13,39	13,50	13,00	13,20

Выполнен динамический расчет пяти вариантов расчетных схем. Получены частоты и формы собственных колебаний. Анализ форм колебаний показал, что первая форма колебаний всех расчетных моделей поступательная, третья форма колебаний — крутильная. Вторая форма первой, третьей, четвертой и пятой моделей — крутильные (рис. 3, а); второй расчетной модели — поступательная (рис. 3, б).

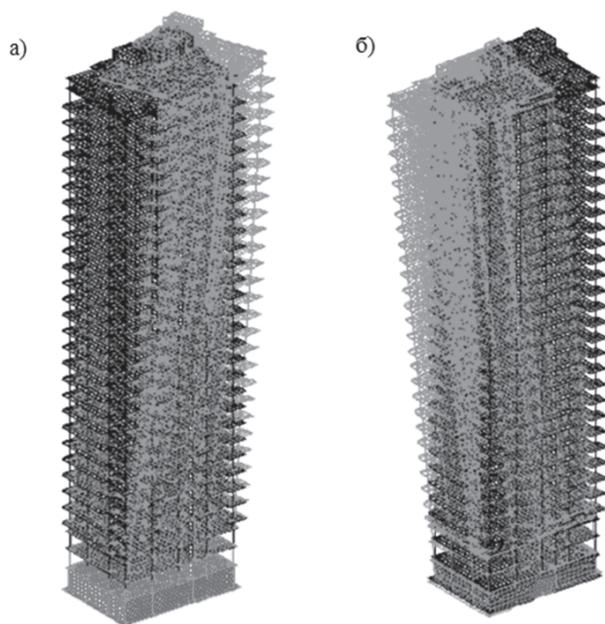


Рис. 3. Вторая форма колебаний: а) первая модель; б) вторая модель

Вторая крутильная форма колебаний подтверждает сложные конструктивные решения исследуемого каркаса и требует дополнительных исследований работы каркаса зданий при динамических нагрузках. Вторая поступательная форма подтверждает правильность принятых конструктивных решений, отвечающих требованиям надежности и экономичности.

Анализ спектра частот и периодов колебаний первой, третьей, четвертой и пятой моделей показал отличие в значениях менее 5%.

Выполнено сравнение динамических характеристик второй и четвертой расчетных моделей. Частоты колебаний второй модели уменьшились на 36%, периоды колебаний выросли на 54% по сравнению с частотами и периодами колебаний четвертой расчетной модели.

Выполнено исследование динамической комфортности расчетных схем, определены ускорения верхних точек каркаса здания. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Ускорение плиты перекрытия последнего этаж

Вариант конструктивного решения	$a (X)$ (мм/с ²)	$a (Y)$ (мм/с ²)	$a (Z)$ (мм/с ²)	a (мм/с ²), расчетные значения	a (мм/с ²), нормативные значения
1-й вариант	0,115	115,095	0,872	115,098	82,21
2-й вариант	1,403	95,234	0,419	95,245	68,03
3-й вариант	82,437	1,976	2,895	82,512	58,94
4-й вариант	82,457	1,077	2,897	82,515	58,94
5-й вариант	83,986	1,025	2,935	84,043	60,03

Согласно нормативным требованиям ускорение верхнего этажа не должно превышать величины $a_{c, \max} = 0,08 \text{ м/с}^2$. Анализ результатов динамического расчета показал, что вариант конструктивного решения без аутригерного этажа не удовлетворяет требованиям динамической комфортности.

Принятое конструктивное решение с двумя аутригерными этажами на технических этажах в виде ферм позволяет увеличить общую устойчивость каркаса здания, удовлетворяет требованиям по динамической комфортности и отвечает требованиям экономичности проектных решений.

Оптимизацию конструктивной схемы рекомендуется производить на самых ранних стадиях проекта [8]. При таком подходе можно создать максимально эффективную аутригерную систему: колонны будут размещены в наиболее оптимальных местах; вертикальные нагрузки будут восприниматься конструкциями аутригера и колоннами.

Разработанный вариант каркаса с рациональным конструктивным решением аутригерных этажей и уточнением общей устойчивости может быть использован при исследовании высотного здания на прогрессирующее обрушение.

Литература

1. *Травуш В.И.* Работа высотных зданий с применением этажей жесткости (аутригеров) [Текст] / В.И. Травуш, Д.В. Конин // Вестник ТГАСУ. — 2009. — № 2. — С. 77–91.
2. *Агаханов Э.К.* Регулирование параметров собственных колебаний пространственного каркаса здания [Текст] / Э.К. Агаханов, Г.М. Кравченко, Е.В. Труфанова // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. — 2016. — № 3. — С. 8–15.
3. *Агаханов Э.К., Агаханов М.К.* Equivalence of effects for a limiting stress state. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 365(2018) 042044. DOI: 10.1088/1757-899X/365/4/042044.
4. *Агаханов Э.К.* О развитии комплексных методов решения задач механики деформируемого твердого тела [Текст] / Э.К. Агаханов, М.К. Агаханов // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. — 2013. — № 2. — С. 39–45.
5. *Чернуха Н.А.* Оптимальное положение и конструкция аутригерных систем высотных зданиях [Текст] / Н.А. Чернуха, П.И. Горелик, Д.О. Лепешкина, Н.А. Червова // Строительство уникальных зданий и сооружений. — 2015. — № 9. — С 19–22.
6. *Агаханов Э.К.* Расчет зданий сложной геометрической формы на ветровые воздействия [Текст] / Э.К. Агаханов, Г.М. Кравченко, Е.В. Осадчий, Е.В. Труфанова // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. — 2017. — № 2. — С. 8–17.
7. *Кравченко Г.М.* Исследование общей устойчивости каркаса здания методом конечных элементов [Текст] / Г.М. Кравченко, Е.В. Труфанова, А.Г. Бойко, Т.С. Адлейба // Строительство и архитектура. — 2019. — № 1. — С. 45–48.
8. *Kravchenko G., Trufanova E., Kostenko D., Tsurikov S.* Analysis of blast load on a reinforced concrete column in the time domain // International Science Conference SPbWOSCE-2016 «SMART City». 2017. P. 04019.

References

1. Travush V.I., Konin D.V. Rabota vysotnykh zdaniy s primeneniem etazhej zhestkosti (autrigerov) [The work of high-rise buildings with the use of stiffness floors (outriggers)]. *Vestnik TGASU* [Bulletin TGASU]. 2009, I. 2, pp. 77–91.
2. Agahanov E.K., Kravchenko G.M., Trufanova E.V. Regulirovanie parametrov sobstvennykh kolebanij prostranstvennogo karkasa zdaniya [Regulation of the parameters of natural vibrations of the spatial frame of the building]. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskije nauki* [Bulletin of the Dagestan State Technical University. Engineering]. 2016, I. 3, pp. 8–15.
3. Agahanov E.K., Agahanov M.K. Equivalence of effects for a limiting stress state. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 365(2018) 042044 doi:10.1088/1757-899X/365/4/042044.
4. Agahanov E.K. O razvitii kompleksnykh metodov resheniya zadach mekhaniki deformiruемого твердого тела [On the development of complex methods for solving problems in the mechanics of a deformable solid]. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskije nauki* [Bulletin of the Dagestan State Technical University. Technical science]. 2013, I. 2, pp. 39–45.
5. Chernuha N.A., Gorelik P.I., Lepeshkina D.O., Chervova N.A. Optimal'noe polozhenie i konstrukciya autrigernykh sistem vysotnykh zdaniyah [The optimal position and design of outrigger systems in high-rise buildings]. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzhenij* [Construction of unique buildings and structures]. 2015, I. 9, pp. 19–22.
6. Agahanov E.K., Kravchenko G.M., Osadchij E.V., Trufanova E.V. Raschet zdaniy slozhnoj geometricheskoy formy na vetrovye vozdejstviya [Calculation of buildings of complex geometric shape for wind effects]. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskije nauki* [Bulletin of the Dagestan State Technical University. Technical science]. 2017, I. 2, pp. 8–17.
7. Kravchenko G.M., Trufanova E.V., Bojko A.G., Adlejba T.S. Issledovanie obshchej ustojchivosti karkasa zdaniya metodom konechnykh elementov [Investigation of the general stability of the building frame by the finite element method]. *Stroitel'stvo i arhitektura* [Construction and Architecture]. 2019, I. 1, pp. 45–48.
8. Kravchenko G., Trufanova E., Kostenko D., Tsurikov S. Analysis of blast load on a reinforced concrete column in the time domain // International Science Conference SPbWOSCE-2016 “SMART City”. 2017. S. 04019.