

## СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ СООРУЖЕНИЙ SEISMIC RESISTANCE

DOI 10.22363/1815-5235-2020-16-1-76-82  
УДК 699.841

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

### Анализ сейсмостойкости конструктивных систем многоэтажных гражданских зданий

З.К. Абаев\*, М.Ю. Кодзаев, А.А. Бигулаев

Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет),  
Российская Федерация, 362021, Республика Северная Осетия — Алания, Владикавказ, ул. Николаева, 44  
\*abaich@yandex.ru

#### История статьи:

Поступила в редакцию: 07 октября 2019 г.  
Доработана: 28 декабря 2019 г.  
Принята к публикации: 23 января 2020 г.

#### Аннотация

**Актуальность.** Увеличение плотности городского населения требует применения оптимальных конструктивных систем многоэтажных гражданских зданий, однако, несмотря на большое количество исследований о рациональности их применения, вопрос о выборе оценки сейсмостойкости конструктивных систем многоэтажных гражданских зданий остается открытым. **Цель** исследования – определение преимуществ и недостатков конструктивных систем многоэтажных зданий в сейсмических районах. **Методы.** В статье представлены результаты сравнительного анализа сейсмостойкости пяти различных конструктивных систем многоэтажных гражданских зданий (сетка колонн – 6×6 м, высота этажа – 3 м, количество этажей – 20): каркасно-стеновой, каркасно-ствольной, ствольной-стеновой, каркасно-ствольно-диафрагмовой, каркасно-ствольно-оболочковой. Для реализации поставленной задачи использовался программный комплекс SCAD Office. Расчет был произведен в соответствии с СП 14.13330.2018 для расчетного землетрясения интенсивностью 8 баллов по шкале MSK-64. Сумма эффективных модальных масс, учтенных в расчете, составила не менее 90 % общей массы системы, возбуждаемой по направлению действия сейсмического воздействия для горизонтальных воздействий, и не менее 75 % – для вертикального воздействия. **Результаты.** Сравнение проводилось по следующим критериям: максимальные перемещения, максимальные сжимающие и растягивающие напряжения, максимальные периоды собственных колебаний, максимальные ускорения.

**Ключевые слова:** сейсмостойкость; землетрясения; многоэтажные здания; высотные здания; конструктивные системы

#### Для цитирования

Абаев З.К., Кодзаев М.Ю., Бигулаев А.А.  
Анализ сейсмостойкости конструктивных систем многоэтажных гражданских зданий // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2020. Т. 16. № 1. С. 76–82. <http://dx.doi.org/10.22363/1815-5235-2020-16-1-76-82>

### Введение

Многоэтажное строительство развивается с ростом численности городского населения. В 2010 г. городское население составляло 3,6 млрд. чел.,

или 51 % от общей численности населения мира. По сравнению с 1950 г. оно увеличилось в 4–5 раз и продолжит расти. Ожидается, что к 2050 г. более 75 % жителей Земли будут жить в городских условиях [1].

Повышение этажности зданий из-за обостряющегося дефицита земли городских территорий и ее удорожания, изменение карт сейсмозонирования территории России в сторону увеличения прогнозируемой интенсивности сейсмических воздействий и количества сейсмоопасных регионов перевели расчеты зданий и сооружений на сейсмические воздействия в разряд часто использу-

Абаев Заурбек Камболатович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций; eLIBRARY SPIN-код: 2843-1586.  
Кодзаев Марат Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной механики; eLIBRARY SPIN-код: 7389-8508.  
Бигулаев Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной механики; eLIBRARY SPIN-код: 8764-6513.

© Абаев З.К., Кодзаев М.Ю., Бигулаев А.А., 2019



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

емых [2]. Большое количество исследований о рациональности применения различных конструктивных систем многоэтажных гражданских зданий направлено, как правило, на оценку одного или нескольких конструктивных параметров (количество этажей, площадь, форма и т. п.) и обоснование оптимальных пределов их использования [1], не рассматривая вопросы их сейсмостойкости, в связи с чем оценка сейсмостойкости различных конструктивных систем многоэтажных зданий становится все более актуальной [3–8]. Тем не менее вопрос о выборе критерия оптимальности и самой методологии исследования остается открытым [9–13].

## 1. Методы и материалы

*Объект исследования* – комбинированные конструктивные системы многоэтажных высотных зданий (рис. 1) [1; 14; 15]:

– *каркасно-стенная (Frame & Tube)* – сочетание несущих стен и каркаса, воспринимающих все вертикальные и горизонтальные нагрузки. Проектируется, как правило, с безригельным каркасом или с нежестким сопряжением ригелей и колонн;

– *каркасно-ствольная (Frame & Core)* – вместо диафрагм жесткости применяются пространственные элементы замкнутой формы в плане, называемые стволами, благодаря чему происходит распределение статической работы и все вертикальные нагрузки воспринимаются каркасом, а горизонтальные – стволом. Следует также отметить, что для обеспечения совместных перемещений каркаса и ствола через каждые 18–20 этажей предусматриваются горизонтальные аутригеры;

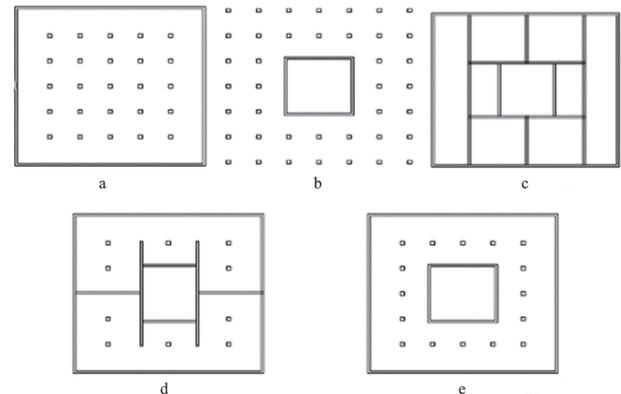
– *ствольно-стенная (Core & Walls)* – сочетает в себе несущие стены и ствол. Распределение вертикальных и горизонтальных нагрузок происходит в различных соотношениях в зависимости от жесткости и расположения элементов;

– *каркасно-ствольно-диафрагмовая (Framed Core & Walls)* – сочетает в себе преимущества каркасно-ствольной системы с включением дополнительных диафрагм жесткости для более эффективного восприятия горизонтальных нагрузок;

– *каркасно-ствольно-оболочковая (Framed Core & Tube)* – система с несущей оболочкой здания и внутренним каркасом. При этом оболочка работает на все виды нагрузок и воздействий, а каркас – преимущественно на вертикальные нагрузки.

*Общие параметры конструктивных систем:* сетка колонн – 6×6 м; сечение колонн – 40×40 см; толщина плит перекрытия – 20 см; толщина стен – 40 см; высота этажа – 3 м; количество этажей –

20; материал несущих конструкций – бетон В25, арматура А500.



**Рис. 1.** Комбинированные конструктивные системы многоэтажных высотных зданий:

*a* – каркасно-стенная; *b* – каркасно-ствольная; *c* – ствольно-стенная; *d* – каркасно-ствольно-диафрагмовая; *e* – каркасно-ствольно-оболочковая

**[Figure 1.** Combined structural systems of high-rise multi-storey buildings:

*a* – frame & tube; *b* – frame & core; *c* – core & walls; *d* – framed core & walls; *e* – framed core & tube]

*Методика расчета.* Для реализации поставленной задачи использовался программный комплекс SCAD Office (рис. 2).

Расчет был произведен в соответствии с СП 14.13330.2018 для расчетного землетрясения интенсивностью 8 баллов по шкале MSK-64. Автоматически было определено количество форм колебаний для всех рассмотренных конструктивных систем. Для каждой из форм колебаний были определены собственные значения, периоды и модальные массы. Сумма эффективных модальных масс, учтенных в расчете, составила не менее 90 % общей массы системы, возбуждаемой по направлению действия сейсмического воздействия для горизонтальных воздействий? и не менее 75 % – для вертикального воздействия. Для автоматического определения необходимого количества форм собственных колебаний используется метод Ланцоша совместно с многофронтальным методом. Были рассчитаны максимальные перемещения, напряжения, ускорения.

*Ограничения области исследования.* Все расчеты выполнены для I категории грунта.

Поскольку основными целями исследования были оценка работы собственных элементов конструктивных систем многоэтажных гражданских зданий и анализ их напряженно-деформированного состояния, в настоящем исследовании не учитывался эффект взаимодействия здания с грунтом основания.

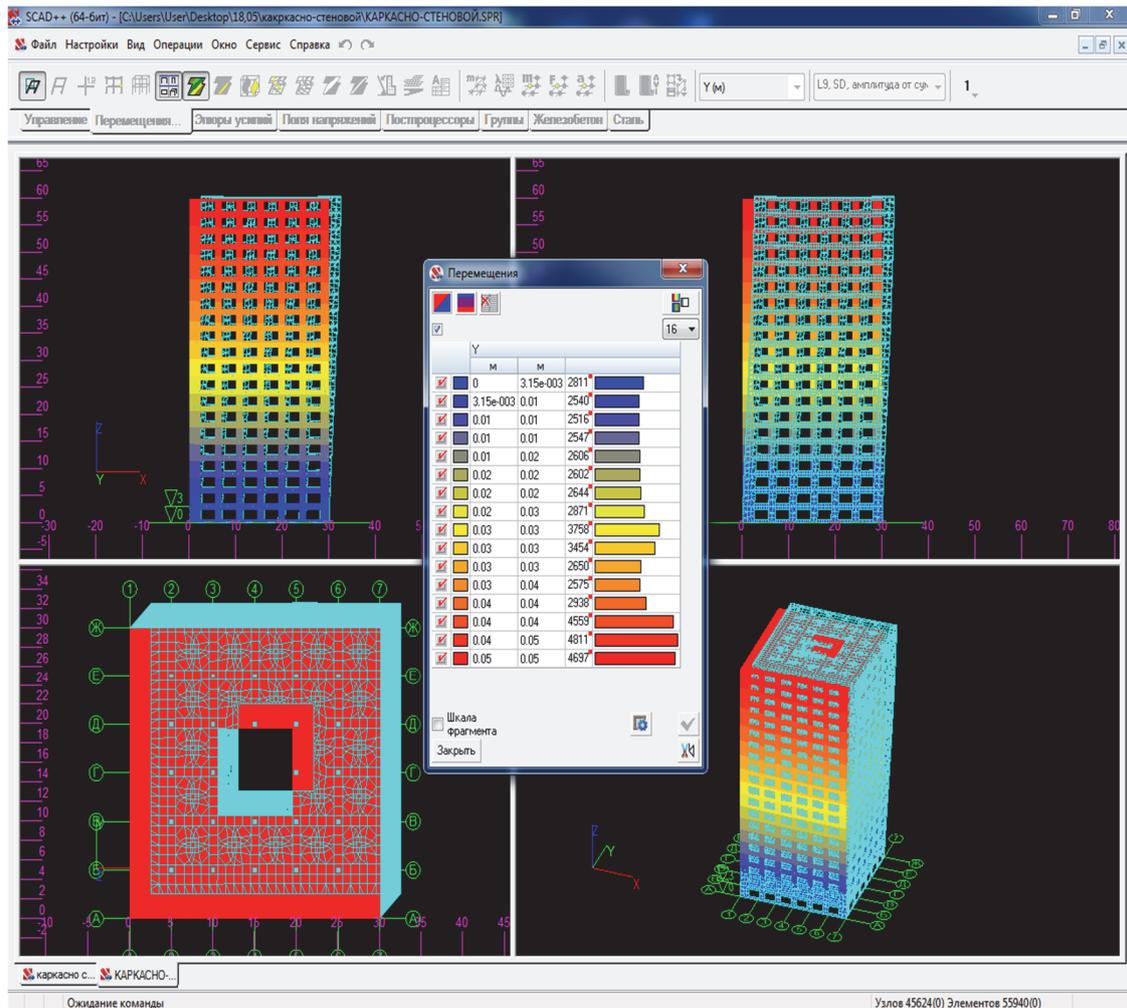


Рис. 2. Результат моделирования в ПК SCAD Office  
 [Figure 2. Calculation results on SCAD Office]

Таблица

Результаты расчета каркасно-стеновой конструктивной системы  
 [Table. Results of calculation of frame & tube structural system]

Номер формы [Mode]	Собственное значение [Value]	Частоты [Frequency]		Период [Period]	Модальные массы, % [Modal masses, %]		
		рад/сек [rad/sec]	Гц [Hz]		X	Y	Z
1	0,12	8,65	1,38	0,73	42,59	33,8	0
2	0,12	8,66	1,38	0,73	33,8	42,59	0
3	0,06	15,57	2,48	0,4	0	0	0
4	0,04	26,6	4,23	0,24	6,64	6,09	0
5	0,04	26,61	4,24	0,24	6,09	6,65	0
6	0,03	30,98	4,93	0,2	0	0	48,82
7	0,03	32,64	5,19	0,19	0,03	0	0
8	0,03	32,64	5,2	0,19	0	0,03	0
9	0,03	35,99	5,73	0,17	0	0	0
10	0,03	38,28	6,09	0,16	0	0	0

Окончание табл. [Table, ending]

Номер формы [Mode]	Собственное значение [Value]	Частоты [Frequency]		Период [Period]	Модальные массы, % [Modal masses, %]		
		рад/сек. [rad/sec.]	Гц [Hz]		X	Y	Z
11	0,02	43,3	6,89	0,15	0,02	0	0
12	0,02	43,32	6,89	0,15	0	0,02	0
13	0,02	44,14	7,03	0,14	0	0	11,82
14	0,02	46,92	7,47	0,13	0,03	0,03	0
15	0,02	47,09	7,49	0,13	1,78	1,74	0
16	0,02	47,11	7,5	0,13	1,71	1,74	0
17	0,02	49,9	7,94	0,13	0,02	0,17	0
18	0,02	49,92	7,95	0,13	0,17	0,02	0
19	0,02	53,83	8,57	0,12	0	0	0,23
20	0,02	53,94	8,58	0,12	0	0	5,59
21	0,02	54,35	8,65	0,12	0	0	0
22	0,02	58,57	9,32	0,11	0	0	0
23	0,02	62,74	9,99	0,1	0	0	12,6
24	0,02	63,7	10,14	0,1	0	0,12	0
25	0,02	63,73	10,14	0,1	0,13	0	0
26	0,02	64,3	10,23	0,1	0,05	0,4	0
27	0,02	64,31	10,23	0,1	0,39	0,05	0,01
28	0,02	65,49	10,42	0,1	1,07	0,06	0
29	0,02	65,51	10,43	0,1	0,05	1,11	0
30	0,02	65,8	10,47	0,1	0	0	1,04
31	0,02	65,84	10,48	0,1	0,18	0,01	0
32	0,02	65,9	10,49	0,1	0	0,12	0
Сумма модальных масс [The sum of the modal masses]					94,77	94,77	80,14

## 2. Результаты

В таблице показаны все динамические загрузки для *каркасно-стеновой конструктивной системы (Frame & Tube)*. Для всех форм колебаний определены собственные значения, частоты, периоды и проценты модальных масс. В рассмотренной каркасно-стеновой конструктивной системе были определены 32 формы колебаний. При сейсмическом воздействии по оси *X* максимальный период колебаний составил 0,73 сек., суммы модальных масс составили 94,77, 94,77 и 80,14 % по осям *X*, *Y* и *Z* соответственно.

Аналогично рассчитывались значения для других конструктивных систем.

Ниже представлено графическое сравнение различных факторов для всех объектов исследо-

вания (конструктивных схем *a*, *b*, *c*, *d*, *e* в соответствии с рис. 1).

На рис. 3 показаны максимальные горизонтальные перемещения каждой конструктивной системы.

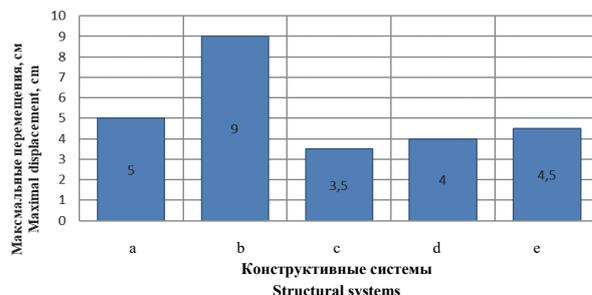


Рис. 3. Сравнение максимальных перемещений [Figure 3. Maximal displacement comparison]

Как видно из рис. 3, ствольно-стенная и каркасно-ствольно-диафрагмовая конструктивная системы обладают наибольшей жесткостью. Каркасно-ствольная схема обладает наименьшей жесткостью из всех сравниваемых конструктивных систем. По результатам расчета максимальные горизонтальные перемещения в каркасно-ствольной конструктивной системе оказались на 257 % больше, чем в ствольно-стенной системе. Системы с несущими конструкциями, расположенными по периметру здания, существенно увеличивают жесткость сооружения. Направления векторов сейсмического воздействия по  $X$ ,  $Y$  и под  $45^\circ$  к осям  $X$  и  $Y$ .

На рис. 4 и 5 показано сравнение максимальных сжимающих и растягивающих напряжений от действия сейсмической нагрузки для каждой конструктивной системы.

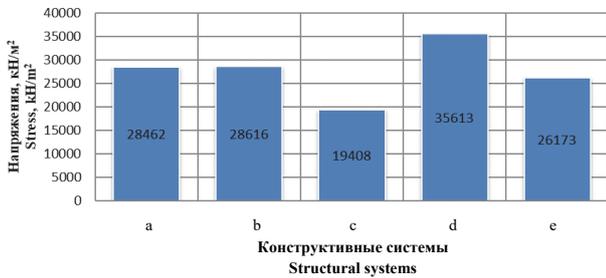


Рис. 4. Сравнение максимальных сжимающих напряжений [Figure 4. Compression stress comparison]

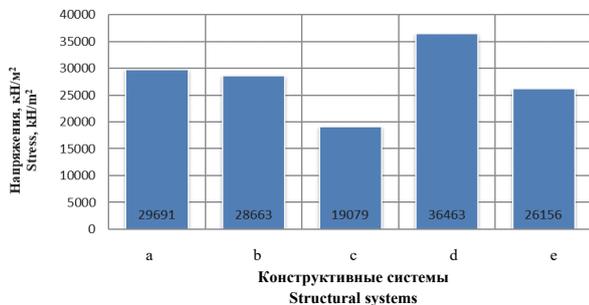


Рис. 5. Сравнение максимальных растягивающих напряжений [Figure 5. Tension stress comparison]

Максимальные сжимающие и растягивающие напряжения при сейсмическом воздействии наблюдаются в каркасно-ствольно-диафрагмовой конструктивной системе. Самые большие напряжения возникают в элементах первого этажа здания в местах заделки стен в основание. В ствольно-стенной конструктивной системе возникают наименьшие в сравнении с другими рассматриваемыми системами напряжения. Напряжения составляют 19 408 кН/м<sup>2</sup>, что на 83 % меньше, чем в каркасно-ствольно-диафрагмовой системе. Результаты расчета показывают, что увеличение количества несущих стен помогает снизить значения максимальных напряжений.

На рис. 6 показаны максимальные периоды колебаний в секундах от действия для каждой конструктивной системы.

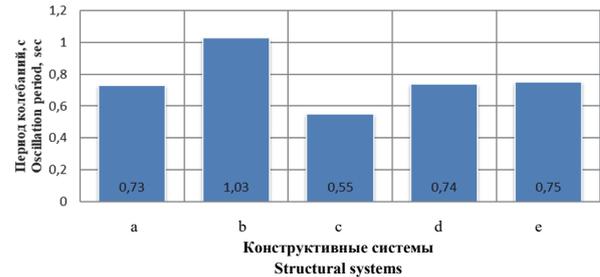


Рис. 6. Сравнение максимальных периодов колебаний [Figure 6. Oscillation period comparison]

Сравнительный анализ показывает, что каркасно-ствольная система имеет значительно больший период собственных колебаний (1,03 сек.), чем системы с несущими стенами (0,55 сек.), что снижает динамический эффект воздействия на здание. В качестве недостатка можно отметить повышенную деформативность каркасных систем.

На рис. 7 показаны максимальные ускорения грунта для каждой конструктивной системы.

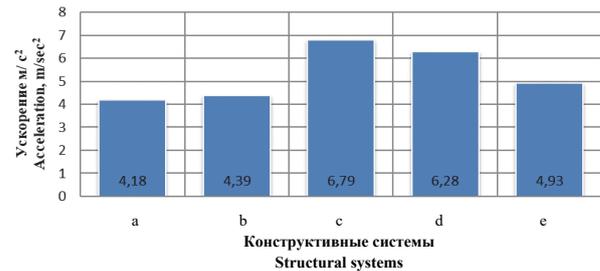


Рис. 7. Сравнение максимальных ускорений [Figure 7. Maximal acceleration comparison]

Результаты расчета показывают, что в системах с большим количеством несущих стен развиваются большие ускорения. В каркасно-ствольной и каркасно-стенной системах ускорения в среднем на 43 % ниже, чем в трех других системах с большим количеством несущих стен.

## Выводы

По результатам исследования был выполнен сравнительный анализ пяти различных комбинированных конструктивных систем многоэтажных гражданских зданий. Расчет был произведен в соответствии с СП 14.13330.2018 для расчетного землетрясения интенсивностью 8 баллов по шкале MSK-64. Для автоматического определения необходимого количества форм собственных колебаний использовался метод Ланцоша совместно с многофронтальным методом.

Сравнительный анализ перемещений показал, что применение внутренних и в особенности наружных стен в качестве основных несущих конструкций позволяет снизить максимальные перемещения при сейсмическом воздействии.

По результатам расчета напряжений можно увидеть, что максимальные сжимающие и растягивающие напряжения в несущих конструкциях возникают при сейсмическом воздействии, направленном под  $45^\circ$  к осям  $X$  и  $Y$ . Максимальные сжимающие и растягивающие напряжения при сейсмическом воздействии наблюдаются в каркасно-ствольно-диафрагмовой конструктивной системе.

Сравнительный анализ периодов колебаний показал, что каркасно-ствольная система имеет значительно больший период собственных колебаний (1,03 сек.), чем системы с несущими стенами (0,55 сек.).

Большой период колебаний снижает динамический эффект воздействия на здание. По результатам расчета ускорений можно увидеть, что в системах с малым количеством несущих стен развиваются наименьшие ускорения.

В каркасно-ствольной и каркасно-стеновой системах максимальные ускорения в среднем на 43 % ниже, чем в трех других системах с большим количеством несущих стен.

#### Список литературы

1. *Сенин Н.И.* Рациональное применение конструктивных систем многоэтажных зданий // Вестник МГСУ. 2013. № 11. С. 76–83.
2. *Джинчвелашвили Г.А., Будушев С.В.* Расчетное обоснование заданного уровня сейсмостойкости сооружений // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2018. Т. 14. № 1. С. 70–79. <http://dx.doi.org/10.22363/1815-5235-2018-14-1-70-79>.
3. *Aly A.M., Abburu S.* On the Design of High-Rise Buildings for Multihazard: Fundamental Differences between Wind and Earthquake Demand // Shock and Vibration. 2015. Vol. 2015. doi: 10.1155/2015/148681.
4. *Liang S., Zou L., Wang D., Huang G.* Analysis of three-dimensional equivalent static wind loads of symmetric high-rise buildings based on wind tunnel tests // Wind and Structures. 2014. Vol. 19. No. 5. Pp. 565–583. doi: 10.12989/was.2014.19.5.565.
5. *Iacovino C., Ditommaso R., Ponzo F., Limongelli M.* The Interpolation Evolution Method for damage localization in structures under seismic excitation // Earthquake Engineering & Structural Dynamics. 2018. Vol. 47. No. 10. Pp. 2117–2136. doi: 10.1002/eqe.3062.
6. *Laghi V., Palermo M., Trombetti T., Schildkamp M.* Seismic-Proof Buildings in Developing Countries // Front. Built Environ. 2017. Vol. 3. Article 49. DOI: 10.3389/fbuilt.2017.00049.
7. *Bai Y., Shi Y., Deng K.* Collapse analysis of high-rise steel moment frames incorporating deterioration effects of column axial force – bending moment interaction // Engineering Structures. 2016. Vol. 127. Pp. 402–415. doi: 10.1016/j.engstruct.2016.09.005.
8. *Lu X., Wang D., Wang S.* Investigation of the seismic response of high-rise buildings supported on tension-resistant elastomeric isolation bearings // Earthquake Engineering & Structural Dynamics. 2016. Vol. 45. No. 13. Pp. 2207–2228. doi: 10.1002/eqe.2755.
9. *Chapain S., Aly A.M.* Vibration attenuation in high-rise buildings to achieve system-level performance under multiple hazards // Engineering Structures. 2019. Vol. 197. Pp. 1–20. doi: 10.1016/j.engstruct.2019.109352.
10. *Mohaiminul H., Sourav R., Amit Ch., Elias Md., Iftekharul A.* Seismic Performance Analysis of RCC Multi-Storied Buildings with Plan Irregularity // American Journal of Civil Engineering. 2016. Vol. 4. No. 3. Pp. 68–73. doi: 10.11648/j.ajce.20160403.11.
11. *Moon K.* Optimal structural configurations for tall buildings // Proceedings of the 13<sup>th</sup> East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction, EASEC 2013. Pp. 354–355.
12. *Aydinoğlu M.N.* Challenges and Problems in Performance-Based Design of Tall Buildings // Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering. 2014. Vol. 32. Pp. 279–300.
13. *Jiang H.J., Lu X.L., Liu X.J., He L.S.* Performance-Based Seismic Design Principles and Structural Analysis of Shanghai Tower // Advances in Structural Engineering. 2014. Vol. 17. No. 4. Pp. 513–527. doi: 10.1260/1369-4332.17.4.513.
14. *Schueller W.* High-rise Building Structures. New York – London – Sydney – Toronto: John Wiley & Sons, Inc, 1977. P. 248.
15. *Willford M., Whittaker A., Klemencic R.* Recommendations for the Seismic Design of High-Rise Buildings // Council for Tall Buildings and Urban Habitat. 2008. Pp. 1–28. doi: 10.13140/RG.2.1.2798.8085.

# Earthquake resistance analysis of structural systems of multi-storey civil buildings

Zaurbek K. Abaev\*, Marat Yu. Kodzaev, Aleksandr A. Bigulaev

North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy, 44 Nikolaeva St., Vladikavkaz, 362021, Republic of North Ossetia – Alania, Russian Federation  
\*abaich@yandex.ru

## Article history:

Received: October 07, 2019

Revised: December 28, 2019

Accepted: January 23, 2020

## Abstract

**Relevance.** Increasing the density of urban population requires the use of optimal structural systems of multi-storey civil buildings, however, despite a large number of studies on the rationality of their application, the question of choosing an assessment of seismic resistance of structural systems of multi-storey civil buildings is still open. **The aim of the study.** This study aims to determine advantages and disadvantages of structural systems of multi-storey buildings in seismic areas. **Methods.** The results of comparison analysis of five structural systems (columns grid – 6×6 m, storey height – 3 m, number of storeys – 20) are presented in this article. The structural systems are: frame & tube, frame & core, core & walls, framed core & walls, framed core & tube. The calculation were done according to Building Code 14.13330.2018 for an earthquake of 8 points intensity of MSK-64 intensity scale. The SCAD Office software package was used for modeling and analyzing. The sum of the effective modal masses taken in the calculation was at least 90% of the total mass of the system excited in the direction of the seismic action for horizontal impacts and at least 75% – for vertical impacts. **Results.** The comparison was carried out according to the following criteria: maximum displacements, maximum compressive and tensile stresses, maximum periods of natural oscillations, maximum accelerations.

**Keywords:** seismic resistance; earthquake; multi-storey buildings; high-rise buildings; structural systems

## For citation

Abaev Z.K., Kodzaev M.Yu., Bigulaev A.A. Earthquake resistance analysis of structural systems of multi-storey civil buildings. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2020;16(1):76–82. <http://dx.doi.org/10.22363/1815-5235-2020-16-1-76-82>. (In Russ.)

## References

1. Senin N.I. Ratsional'noe primeneniye konstruktivnykh sistem mnogoetazhnykh zdaniy [Rational Usage of Structural Systems of Multi-Storey Buildings]. *Vestnik MGSU*. 2013;(11):76–83.
2. Dzinchvelashvili G.A., Bulushev, S.V. Feasibility evaluation for a predefined seismic resistance of structures. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2018;14(1):70–79. <http://dx.doi.org/10.22363/1815-5235-2018-14-1-70-79>. (In Russ.)
3. Aly A.M., Abburu S. On the Design of High-Rise Buildings for Multihazard: Fundamental Differences between Wind and Earthquake Demand. *Shock and Vibration*. 2015. doi: 10.1155/2015/148681.
4. Liang S., Zou L., Wang D., Huang G. Analysis of three-dimensional equivalent static wind loads of symmetric high-rise buildings based on wind tunnel tests. *Wind and Structures*. 2014;19(5):565–583. doi: 10.12989/was.2014.19.5.565.
5. Iacovino C., Ditommaso R., Ponzo F., Limongelli M. The Interpolation Evolution Method for damage localization in structures under seismic excitation. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*. 2018;47(10):2117–2136. doi: 10.1002/eqe.3062.
6. Laghi V., Palermo M., Trombetti T., Schildkamp M. Seismic-Proof Buildings in Developing Countries. *Front. Built Environ*. 2017;(3). doi: 10.3389/fbuil.2017.00049.
7. Bai Y., Shi Y., Deng K. Collapse analysis of high-rise steel moment frames incorporating deterioration effects of column axial force – bending moment interaction. *Engineering Structures*. 2016;(127):402–415. doi: 10.1016/j.engstruct.2016.09.005.
8. Lu X., Wang D., Wang S. Investigation of the seismic response of high-rise buildings supported on tension-resistant elastomeric isolation bearings. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*. 2016;45(13):2207–2228. DOI:10.1002/eqe.2755.
9. Chapain S., Aly A.M. Vibration attenuation in high-rise buildings to achieve system-level performance under multiple hazards. *Engineering Structures*. 2019;(197):1–20. doi: 10.1016/j.engstruct.2019.109352.
10. Mohaiminul H., Sourav R., Amit Ch., Elias Md., Iftekharul A. Seismic performance analysis of RCC with plan multistoried buildings irregularity. *American Journal of Civil Engineering*. 2016;4(3):68–73. doi: 10.11648/j.ajce.20160403.11.
11. Moon K. Optimal structural configurations for tall buildings. *Proceedings of the 13<sup>th</sup> East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction*, EASEC. 2013:354–355.
12. Aydinoglu M.N. Challenges and Problems in Performance-Based Design of Tall Buildings. *Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering*. 2014;(32):279–300.
13. Jiang H.J., Lu X.L., Liu X.J., He L.S. Performance-Based Seismic Design Principles and Structural Analysis of Shanghai Tower. *Advances in Structural Engineering*. 2014;17(4):513–527. doi: 10.1260/1369-4332.17.4.513.
14. Schueller W. *High-Rise Building Structures*. New York, London, Sydney, Toronto: John Wiley & Sons, Inc; 1977.
15. Willford M., Whittaker A., Klemencic R. Recommendations for the Seismic Design of High-Rise Buildings. *Council for Tall Buildings and Urban Habitat*. 2008:1–28. doi: 10.13140/RG.2.1.2798.8085.

Zaurbek K. Abaev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Civil Engineering Department; eLIBRARY SPIN-code: 2843-1586.

Marat Yu. Kodzaev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Theoretical and Applied Mechanics; eLIBRARY SPIN-code: 7389-8508.

Aleksandr A. Bigulaev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Theoretical and Applied Mechanics; eLIBRARY SPIN-code: 8764-6513.