

DOI: 10.34031/article\_5da44bf06a0238.75457055

<sup>1,\*</sup>Чапидзе О.Д., <sup>2</sup>Жуков Д.И.<sup>1</sup>Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет  
Россия, 129337, г. Москва, ул. Ярославское шоссе, д. 26<sup>2</sup>Кубанский государственный технологический университет

Россия, 350042, г. Краснодар, ул. Московская, д. 2

\*E-mail: otari23@mail.ru

## МОДАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МНОГОЭТАЖНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО КАРКАСА ПОСЛЕ ОГНЕВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

**Аннотация.** Пожар является одной из важнейших проблем в строительстве. В большей степени с этим фактором риска сталкиваются передовые страны, имеющие богатый опыт и знания в области обеспечения пожарной безопасности и современного материаловедения. Различные техногенные процессы способствуют развитию динамической нагрузки, влияющей на конструкцию зданий и сооружений. В статье рассматриваются формы частот собственных колебаний многоэтажного железобетонного каркасного здания, в момент времени до и после приложения пожарной нагрузки. Приводится сценарий развития пожара в многоэтажном каркасном здании на 2, 12 и 21 этажах, с анализом частот собственных колебаний, в количестве – 100 форм. Исходя из полученных данных, с применением математического анализа ПК Ansys 19.1, было выявлено, что после огневого воздействия частота форм собственных колебаний изменяется до 157 %; средний процент изменения форм частот собственных колебаний здания – на 5,4 %. Изменение частоты колебаний здания напрямую зависит от степени огневого поражения его строительных конструкций, влекущее за собой неминуемое снижение динамического сопротивления несущих элементов, приближая частоту форм собственных колебаний к частоте колебаний основания здания, что в свою очередь может привести к состоянию резонанса.

**Ключевые слова:** пожар, огневое воздействие, огнестойкость, железобетон, колебания.

**Введение.** Как известно, в общемировой практике в результате пожаров ежегодно в пострадавших странах фиксируются огромные потери. К примеру, по данным Американского центра огневых испытаний в США каждый год погибает более 12 тыс. человек – больше 100 тыс. получают увечья.

По данным National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA [10], в США, за 2017 год, ущерб от пожаров стал рекордным и составил более 18 млрд долларов. В нашей стране пожары также приносят значительный ущерб: 2017 г. – более 5 млрд руб. [5].

Максимальный материальный ущерб, около 52 %, связан с разрушением строительных конструкций зданий и их последующим обрушением, поскольку при потере несущей способности тяжелые конструкции, падая вниз, нарушают целостность технологического оборудования и всего того, что находится в помещениях. В тоже время, сохранение строительных конструкций существенно снижает ущерб, а последствия таких пожаров связаны лишь с восстановлением технологического оборудования и других материальных ценностей.

Следовательно, обеспечение несущей способности строительных конструкций зданий при пожарах является важной задачей, решение кото-

рой должно создать безопасные условия для работы людей, защиты материальных ценностей и сведения до минимума возможных потерь.

Поведение конструкции в условиях пожара характеризуется ее огнестойкостью – способностью конструкции сопротивляться воздействию пожара в течение определенного времени, сохраняя при этом свои обычные эксплуатационные характеристики.

Огнестойкость строительной конструкции, в первую очередь, определяется характером и интенсивностью температурного режима пожара [7].

Несмотря на исследования проблемы пожаров в зданиях [3, 6, 21], процесс развития и распространения огня, а также сопутствующих опасных продуктов сгорания по помещениям зданий, остается малоизученным, в виду многообразия и вариативности характеров температурных режимов, условиях пожара, количества и вида горючей нагрузки, теплообмена в помещении, теплоемкости, теплофизических характеристик ограждающих конструкций и т.д.

В общем случае режим реального пожара характеризуется сложной температурной кривой, имеющей экстремум, восходящие и нисходящие ветви [21].

Считается, что основное влияние на состояние конструкций в условиях воздействия пожара оказывает период нарастания температуры

среды. Поэтому для целей исследования огнестойкости строительных конструкций и сопоставления полученных результатов в 1961 г. организацией ISO была принята возрастающая температурная кривая именуемая, как – температурный режим стандартного пожара. Она построена по усредненным данным о нарастании температур в жилых и общественных зданиях [21].

Экспериментальные исследования показывают, что огневое воздействие меняет прочностные и деформативные характеристики железобетона, снижая при этом сопротивление к динамической нагрузке [1, 2, 18].

**Методология.** Целью работы является оценка частот собственных колебаний железобетонного многоэтажного здания подверженному огневому воздействию в условиях пожара.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

1. Нелинейный расчет 23-этажного каркасного железобетонного здания при нормальных условиях с температурой среды  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
2. Задание высокотемпературной нагрузки на конструкции здания по ISO–834 с временным промежутком – 30 мин.;
3. Анализ конструкции после огневого воздействия;
4. Модальный анализ здания при нормальных условиях;
5. Модальный анализ здания с учетом деформаций, после огневого воздействия;
6. Произвести качественную и количественную оценку изменения частот собственных колебаний здания по полученным данным в программном комплексе ПК Ansys 19.1.

**Основная часть.** Объектом исследования был выбран 23-этажный жилой дом (см. рис. 1).

Габариты здания в плане  $36,0 \times 30,0$  м, сетка колонн  $6,0 \times 6,0$  м, высота здания 72,6 м.

Конструктивное решение здания – рамный каркас, монолитного исполнения; плита перекрытия толщиной – 200 мм, колонны размером –  $400 \times 400$  мм, ригели сечением – 400 мм. Материал несущих конструкций: бетон класса В25, арматура А500С.

В программном комплексе ПК Ansys 19.1 моделируется математическая модель нелинейно-статического расчета, с учетом всех граничных условий, расчет проводится при нормальных условиях, с температурой среды  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

После проведенного расчета были выявлены значения вертикальных деформаций здания (см. рис. 2).

По нелинейному расчету модели здания в программном комплексе ПК Ansys 19.1, получено:

– максимальная деформация 17,4 мм, что меньше максимально допустимой деформации несущей конструкции – 30 мм.



Рис. 1. Параметрическая модель здания

Следующий этап расчета здания – задание огневого воздействия на трех разных уровнях, рассматриваются 2, 12 и 21 этажи. Нелинейно статический расчет на огневое воздействие произведен с учетом нормативного документа [4].

Стандартная кривая температуры пожара задается в программном комплексе ПК Ansys 19.1, временной промежуток огневого воздействия – 30 мин.

Температура стандартного температурного режима определяется по ISO–834, через логарифмическую зависимость [22]:

$$T = 345 \lg(8\tau + 1) + t_e, \quad (1)$$

где  $T$  – температура среды,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\tau$  – время нагрева, мин.;  $t_e$  – начальная температура,  $^{\circ}\text{C}$ ;

График зависимости температуры от времени задается в препроцессоре программного комплекса ПК Ansys 19.1 (см. рис. 2).

Огневое воздействие рассматривается на 2, 12 и 21 этажах здания, приводятся изображения температурных полей и деформаций конструкций (см. рис. 4–5).

Численные значения деформации железобетонного здания после огневого воздействия приведены в табличной форме (см. табл. 1).

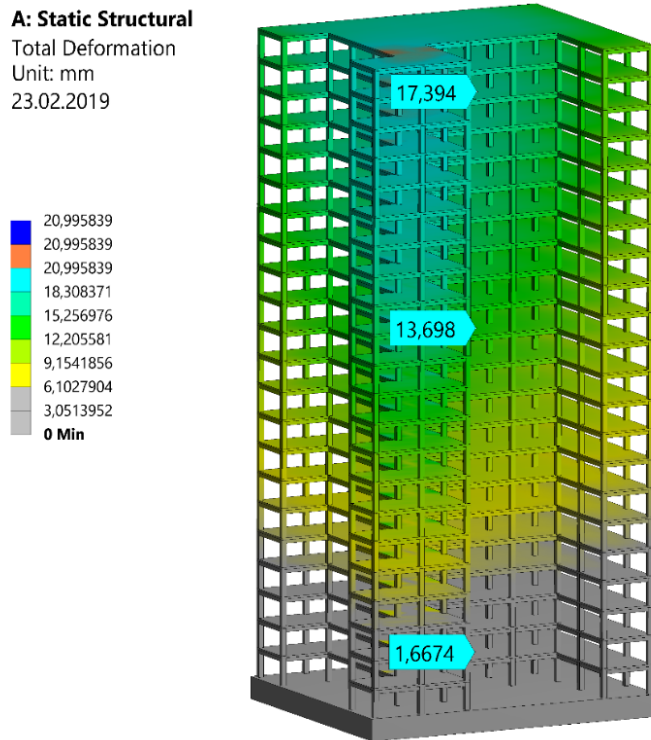


Рис. 2. Деформации конструкций здания при нормальных условиях

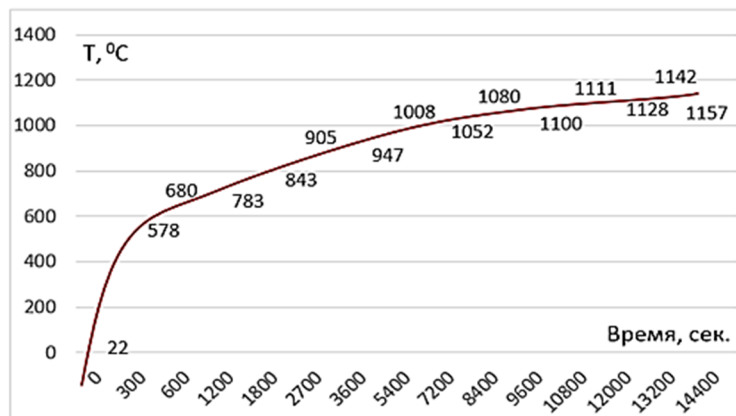


Рис. 3. Стандартная кривая температуры пожара по ISO-834

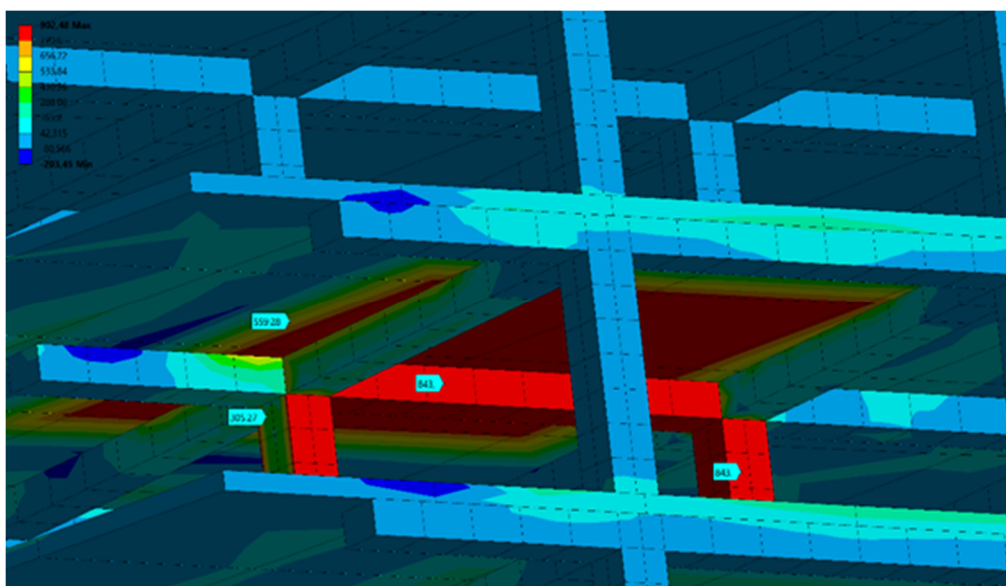


Рис. 4. Температурное поле огневого воздействия на 2 этаже

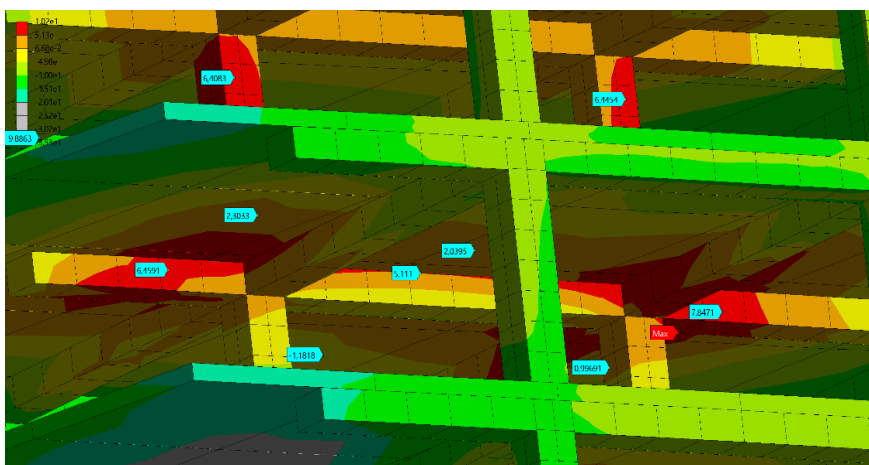


Рис. 5. Температурное поле огневого воздействия на 2 этаже

Таблица 1

## Деформация здания после огневого воздействия

Structure	REI	Деформация конструкций, мм			Запас прочности, %		
		2 этаж	12 этаж	21 этаж			
Плита перекрытия	45	8,129	7,932	3,276	73	74	89
Ригель	90	6,643	5,643	2,128	77	79	93
Колонна	90	1,221	1,184	0,863	95	96	97

На основании полученных данных можно сделать вывод, об обеспеченности огнестойкости строительных конструкций; деформации основных несущих элементов здания находятся в нормативных пределах.

Для анализа собственных частот колебаний здания проведен модальный анализ с учетом 100

форм колебаний в момент времени до и после приложения пожарной нагрузки.

Результаты расчета 100 форм частот собственных колебаний в момент времени до и достижения огневого воздействия с соответствующей температурной нагрузки в уровне приведены в табличной форме (см. табл. 2).

Таблица 2

## Деформация здания после огневого воздействия

№ Формы колебаний	Частота колебаний до огневого воздействия, Hz	Частота колебаний после огневого воздействия, Hz			Изменение, %		
		2 этаж	12 этаж	21 этаж	2 этаж	12 этаж	21 этаж
1	0,30987	0,31214	0,31476	0,31575	0,73	1,57	1,89
2	0,31438	0,32336	0,60481	0,80795	2,86	92,38	157
3	0,35392	0,36639	0,68436	0,89217	3,52	93,36	152
5	0,9715	1,0137	1,4525	1,6679	4,34	49,51	71,68
6	1,0834	1,1341	1,5998	1,7345	4,68	47,66	60,09
8	1,7351	1,8071	2,0267	2,4551	4,15	16,80	41,5
9	1,9002	1,9872	2,2375	2,5268	4,58	17,75	32,97
12	2,5922	2,5953	2,9431	3,0549	0,12	13,53	17,85
13	2,6976	2,8192	3,0694	3,0845	4,51	13,78	14,34
16	3,2152	3,2793	3,3127	3,562	1,99	3,03	10,79
34	6,1045	6,3142	6,3896	6,6454	3,44	4,67	8,86
57	8,989	9,1896	9,1504	9,4141	2,23	1,79	4,73
70	10,021	10,178	10,191	10,444	1,57	1,69	4,22
100	12,187	12,368	12,288	12,44	1,49	0,82	2,07

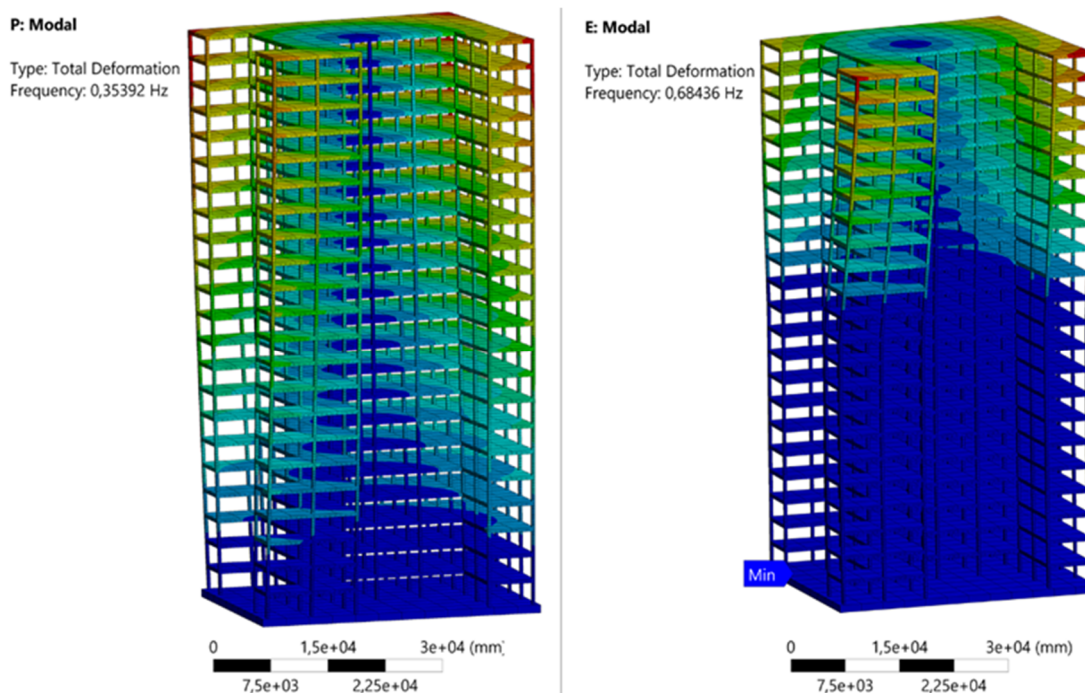
Сравнительный анализ результатов частот собственных колебаний здания при нормальных условиях и в условиях после достижения огневого воздействия (см. рис. 6).

Анализ форм частот собственных колебаний показывает, что частоты форм колебаний здания

увеличивается до 157 %, что обусловлено изменением деформативных свойств материалов при огневых воздействиях [1].

**Выводы.** Программный комплекс ПК Ansys 19.1, позволяет выполнить модальный анализ здания, учитывая при этом высокотемпературный режим воздействия на конструкцию с течением времени.





а) До огневого воздействия

б) После огневого воздействия

Рис. 6. Собственная частота колебания здания

Вертикальные деформации после огневого воздействия, остаются в пределах нормы, что соответствует нормативному документу [12].

Наибольшее изменение частоты собственных колебаний здания достигается при сценарии, когда пожар происходит на 21 этаже, при этом вторая и третья формы колебаний достигли максимальных увеличений частот в 2,52 и в 2,57 раза.

Средний процент изменения частоты колебания на 2 этаже – 1,51 %, на 12 этаже – 5,4 %, на 21 этаже – 8,87 %, соответственно.

Чем выше место расположения деформируемой конструкции в здании после огневого воздействия, тем больше она влияет на частоту собственных колебаний здания, основное изменение происходит при формах на кручение.

Изменение частот собственных колебаний способствует снижению сопротивления к динамической нагрузке, приближая частоту форм собственных колебаний к частоте колебания основания, что в свою очередь может вызвать состояние резонанса в конструкции.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аветисян Л.А., Тамразян А.Г. Влияние динамического эффекта на несущую способность железобетонных колонн, работающих в условиях огневых воздействий // Вестник МГСУ. 2013. №10. С. 13–24.

2. Аветисян Л.А., Тамразян А.Г. Расчет внецентренножатых железобетонных элементов на кратковременную динамическую нагрузку //

Строительство: наука и образование. 2013. №4. Ст. 2. Режим доступа: <http://www.nso-iournal.ru>

3. Голованов В.И., Павлов В.В., Пехотиков А.В. Экспериментальный и аналитические исследования несущей способности большепролетных балок при огневом воздействии // Огнестойкость строительных конструкций. 2015. Т. 24. №11. С. 31–38.

4. ГОСТ 30247.0-94 (ИСО 834-75) Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования.

5. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2017 году». М.: МЧС России. ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2018. 376 с.

6. Курлапов Д.В. Воздействие высоких температур пожара на строительные конструкции // Инженерно-строительный журнал. 2009. №4. С. 50–58.

7. Милованов А.Ф., Яковлев А.И. Огнестойкость изгибаемых предварительно напряженных железобетонных элементов при потере прочности от поперечной силы // В кн.: Огнестойкость строительных конструкций: Сборник трудов вып. 7 / Всероссийский. науч.-иссл. ин-т противопожарной обороны МВД. М.: ВНИПО, 1979. С. 36–49.

8. Мкртычев О.В., Сидоров Д.С. Расчет железобетонного здания на температурное воздействие // Вестник МГСУ. 2012. №5. С. 50–55.

9. Мкртычев О.В., Сидоров Д.С. Расчет огнестойкости высотного здания при пожаре // Вестник МГСУ. 2010. №4. С. 246–249.

10. Мэтт Макграт., BBC [Электронный ресурс] // BBC.com: BBC News Русская служба URL: <https://www.bbc.com/russian/features-42614950>
11. Синицын С.Б. Строительная механика в методе конечных элементов стержневых систем. М., 2001. 320 с.
12. СП 20.13330.2011. СНиП 2.01.07-85\*. Нагрузки и воздействия. Минрегион России, ОАО «ЦПП. М., 2010. 80 с.
13. СП 63.13330.2012. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Минрегион России, ОАО «ЦПП. М., 2012. 155 с.
14. СТО 365.54501-006-2006 // Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций. Москва. 2006.
15. Тамразян А.Г., Булгаков С.Н., Рахман И.А., Степанов А.Ю. Снижение рисков в строительстве при чрезвычайных ситуациях природного и технического характера // Научное издание. Под общ. ред. Тамразяна А.Г. Издание второе. М.: Издательство АСВ, 2012. 304 с.
16. Тамразян А.Г., Гильмутдинова Л.Р. Оценка надежности железобетонной многослойной плиты перекрытия после огневого воздействия // Сборник трудов конференции. Москва. 2017. С. 273–276.
17. Тамразян А.Г., Мехрализадех А.Б., Особенности проявления огневых воздействий при расчете конструкций на прогрессирующее разрушение зданий с переходными этажами // Пожаро-взрыво-безопасность. 2012. Том 21. № 12. С. 41–44.
18. Тамразян А.Г., Аветисян Л.А. К учету коэффициента динамического упрочнения при расчете железобетонных колонн в условиях огневых воздействий // Вестник ИргТУ. 2014. №9 (92). С. 133–138.
19. Capua D.D., Mari A.R. Nonlinear analysis of reinforced concrete cross-sections exposed to fire. Fire Saf J. 2007. 42(2). Pp. 139–49.
20. Davie C.T., Zhang H.L., Gibson A. Investigation of a continuum damage model as an indicator for the prediction of spalling in fire exposed concrete Comput Struct. 2012. 94–95. Pp. 54–64
21. EN 1992-1-2, “Eurocode 2, Design of concrete structures, Part 1-2: General rules – Structural fire design”, Commission of the European Communities, Brussels, 2004.
22. Haei-Juan Lee Finite Element Simulations with ANSYS Workbench 15 // 2010.
23. Howard C.Q., Cazzolato B.S., Acoustic Analyses Using MATLAB® and ANSYS® (CRC, 2014). 2014. 663 p.
24. Kokot S., Anthoine A., Negro P., Solomos G. Static and dynamic analysis of a reinforced concrete flat slab frame building for progressive collapse // Engineering Structures. 2012. Vol. 40. Pp. 205–217.
25. Shapira A. Potential earthquake risk estimations by application of a simulation process // Tectonophysics. 1983a. Vol. 95. No. 1/2. Pp.75–89.
26. Shapira A.A. Probabilistic approach for evaluating earthquake risks, with application to the Afro-Eurasian junction // Tectonophysics. 1983b. Vol. 91. N3/4. Pp. 321–334.

*Информация об авторах*

**Чапидзе Отари Джемалиевич**, магистрант кафедры железобетонных и каменных конструкций. E-mail: otari23@mail.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Москва., ул. Ярославское шоссе, д. 26.

**Жуков Дмитрий Игоревич**, бакалавр кафедры строительных конструкций. E-mail: izhukovdmitry@mail.ru. Кубанский государственный технологический университет. Россия, 350042, Краснодар, ул. Московская, д. 2.

*Поступила в мае 2019 г.*

© Чапидзе О.Д., Жуков Д.И., 2019

<sup>1,\*</sup>Chapidze O.D., <sup>2</sup>Zhukov D.I.

<sup>1</sup>National Research University Moscow State University of Civil Engineering  
Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe highway, 26

<sup>2</sup>Kuban State Technological University  
Russia, 350042, Krasnodar, st. Moscow, 2

\*E-mail: otari23@mail.ru

## MODAL ANALYSIS OF MULTILEVEL CONCRETE FRAMEWORK AFTER FIRE EXPOSURE

**Abstract.** Fire accidents are one of the most important problems of a society with advanced technology. Moreover, it is more related to advanced countries that have rich experience and knowledge of safety and new

building materials. Various man-made factors contribute to the development of dynamic loads that affect the design of buildings and structures. The article discusses the frequency forms of natural oscillations of a multi-storey reinforced concrete frame building before and after the fire impact. The scenario of the fire impact of a multi-storey frame building on floors 2, 12 and 21 is considered, and then an analysis of 100 forms of natural frequencies is carried out. Based on the data obtained, the mathematical analysis in the Ansys software package, it was revealed that after the fire impact the frequency of natural oscillations forms up to 157 %. The average percentage change in the shape of the frequency of natural oscillations of a building makes up to 5,4 %. Changing of oscillation frequency depends on the level of fire exposure. A change in the natural vibration frequencies contributes to reducing the resistance to dynamic load, bringing the frequency in turn of the natural vibration forms closer to the frequency of the base oscillation, which can cause a resonant state.

**Keywords:** fire impact, fire accident, fire resistance, reinforced concrete, vibrations.

## REFERENCES

1. Avetisyan L.A., Tamrazyan A.G. The influence of dynamic effect on the bearing capacity of reinforced concrete columns, working in conditions of unexposed [Vliyanie dinamicheskogo effekta na nesushchuyu sposobnost' zhelezobetonnykh kolonn, rabotayushchih v usloviyah ognevyykh vozdeystviy]. Vestnik MGSU. 2013. No. 10. Pp. 13–24. (rus)
2. Avetisyan L.A., Tamrazyan A.G. Eccentric Calculation of reinforced concrete elements on a short-term dynamic load [Raschet vncentrennoszhatykh zhelezobetonnykh elementov na kratkovremennuyu dinamicheskuyu nagruzku]. Stroitelstvo: nauka i obrazovanie. 2013. No. 4. <http://www.nso-iournal.ru> (rus)
3. Golovanov V.I., Pavlov V.V., Pehotikov A.V. An experimental and analytical study of the bearing capacity of large-span beams with unexposed [Eksperimental'nyj i analiticheskie issledovaniya nesushchej sposobnosti bol'sheproletnykh balok pri ognevom vozdeystvii]. Fire resistance of building structures. 2015. Vol. 24. No. 11. Pp. 31–38. (rus)
4. GOST 30247.0-94 (ISO 834-75) Konstruktsii stroitel'nye. Metody ispytaniy na ognestoykost'. Obshchie trebovaniya. (rus)
5. State report «O sostoyanii zashchity naseleeniya i territoriy Rossiyskoy Federatsii ot chrezvychnykh situatsiy prirodnoho i tekhnogennogo kharaktera v 2017 godu». M.: MChS Russia. FGBU VNII GOChS (FTs), 2018. Pp. 376. (rus)
6. Kurlapov D.V. Exposure to high temperatures of fire on building structures [Vozdeystvie vysokih temperatur pozhara na stroitel'nye konstrukcii]. Magazine of Civil Engineering. 2009. No. 4. Pp. 50–58. (rus)
7. Milovanov A.F., Yakovlev A.I. Fire resistance bent prestressed concrete elements with a loss of strength of the lateral force. In the book. [Ognestojkost' izgibaemykh predvaritel'no napryazhennykh zhelezobetonnykh elementov pri potere prochnosti ot poperechnoj sily. Ognestojkost' stroitel'nykh konstrukcij]. Fire resistance of building structures: Proceedings vyp.7. Russian. scientific research in-t of a fire-prevention defense of the Ministry of Internal Affairs. M.: VNIPO, 1979. Pp. 36–49. (rus)
8. Mkrtychev, O.V Sidorov, D.S. Calculation of reinforced concrete buildings on the thermal effect [Raschet zhelezobetonnoho zdaniya na temperaturnoe vozdeystvie]. Herald MGSU. 2012. No. 5. Pp. 50–55. (rus)
9. Mkrtychev O.V., Sidorov D.S. Calculation of fire resistance of high-rise buildings in case of fire [Raschet ognestojkosti vysotnogo zdaniya pri pozhare]. Vestnik MGSU. 2010. No. 4. Pp. 246–249. (rus)
10. Matt McGrath., BBC. BBC.com: BBC News Russian service URL: <https://www.bbc.com/russian/features-42614950>
11. Sinitsyn S.B., Structural Mechanics in the finite element beam systems [Stroitel'naya mekhanika v metode konechnykh elementov sterzhnevyykh sistem]. M., 2001. 320 p. (rus)
12. SP 20.13330.2011 Load and impact. Russian Ministry of Regional Development, JSC "LAC. M., 2010. 80 p. (rus)
13. SP 63.13330.2012. Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions. Ministry of Regional Development of Russia, OJSC "ZPP. M., 2012. 155 p. (rus)
14. STO 365.54501-006-2006 Rules to ensure that the fire resistance of reinforced concrete structures and fire protection. Moscow. 2006 (rus)
15. Tamrazyan A.G., Bulgakov S.N., Rahman I.A., Stepanov A.Y. Risk mitigation in the construction of emergency situations of natural n technical [Snizhenie riskov v stroitel'stve pri chrezvychnykh situatsiyah prirodnoho i tekhnicheskogo kharaktera]. Scientific edition. Under total ed. Tamrazyan A.G. Second edition. M.: Publishing House DIA, 2012. 304 p. (rus)
16. Tamrazyan A.G., Gilmutdinova L.R. Evaluation of reliability multivacuum concrete slabs after fire exposure [Ocenka nadezhnosti zhelezobetonnoj mnogopustotnoj plity perekrytiya posle ognevoho vozdeystviya]. Conference Proceedings. M., 2017. Pp. 273–276. (rus)
17. Tamrazyan A.G., Mehralizadeh A.B. Peculiarities of fire effects in the calculation of structures

on the progressive destruction of buildings with the transitional floors. *Pozharovzryvo-security*. 2012. Vol. 21. No. 12 Pp. 41–44. (rus)

18. Thamrazyan A.G., Avetisyan L.A. Accounting coefficient K when calculating the dynamic hardening concrete columns under unexposed [K uchetu koefficienta dinamicheskogo uprochneniya pri raschete zhelezobetonnykh kolonn v usloviyah ognevyykh vozdeystviy]. *Bulletin ISTU*. 2014. No. 9 (92). Pp. 133–138. (rus)

19. Capua D.D., Mari A.R. Nonlinear analysis of reinforced concrete cross-sections exposed to fire. *Fire Saf J*. 2007. 42(2). Pp. 139–49.

20. Davie C.T., Zhang H.L., Gibson A. Investigation of a continuum damage model as an indicator for the prediction of spalling in fire exposed concrete *Comput Struct*. 2012. 94–95. Pp. 54–64

21. EN 1992-1-2, “Eurocode 2, Design of concrete structures, Part 1-2: General rules – Structural

fire design”, Commission of the European Communities, Brussels, 2004.

22. Haei-Juan Lee *Finite Element Simulations with ANSYS Workbench 15 // 2010*.

23. Howard C.Q., Cazzolato B.S., *Acoustic Analyses Using MATLAB® and ANSYS® (CRC, 2014)*. 2014. 663 p.

24. Kokot S., Anthoine A., Negro P., Solomos G. Static and dynamic analysis of a reinforced concrete flat slab frame building for progressive collapse. *Engineering Structures*. 2012. Vol. 40. Pp. 205–217.

25. Shapira A. Potential earthquake risk estimations by application of a simulation process. *Tectonophysics*. 1983a. Vol. 95. No. 1/2. Pp. 75–89.

26. Shapira A.A. Probabilistic approach for evaluating earthquake risks, with application to the Afro-Eurasian junction. *Tectonophysics*. 1983b. Vol. 91. N3/4. Pp. 321–334.

#### *Information about the authors*

**Chapidze, Otari D.** Master student. E-mail: otari23@mail.ru. National Research University Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe highway, 26.

**Zhukov, Dmitry I.** Bachelor student. E-mail: izhukovdmitry@mail.ru. Kuban State Technological University. Russia, 350042, Krasnodar, st. Moscow, 2.

---

*Received in May 2019*

#### **Для цитирования:**

Чапидзе О.Д., Жуков Д.И. Модальный анализ многоэтажного железобетонного каркаса после огневого воздействия // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 9. С. 22–29. DOI: 10.34031/article\_5da44bf06a0238.75457055

#### **For citation:**

Chapidze O.D., Zhukov D.I. Modal analysis of multilevel concrete framework after fire exposure. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2019. No. 9. Pp. 22–29. DOI: 10.34031/article\_5da44bf06a0238.75457055