

Исследование влияния жесткости этажей на сейсмическую реакцию и надежность

В работе исследовано влияние уровня жесткости этажей на сейсмическую реакцию и надежность многоэтажных зданий. Воздействие при этом задано в виде нестационарного случайного процесса с разными преобладающими периодами колебаний. Проведены динамические расчеты зданий высотой 9, 12 и 17 этажей, определены величины перемещений и перекосов этажей, оценено влияние жесткости этажей на характеристики сейсмической реакции. Методом статистических испытаний определены уровни надежности зданий разной этажности и жесткости при заданных предельном уровне перекоса этажей и преобладающем периоде колебаний грунтов. Показана возможность выбора показателя жесткости этажей здания при заданных параметрах землетрясения и уровней надежности.

Ключевые слова: сейсмическое воздействие, нестационарный случайный процесс, многоэтажное здание, жесткость этажа, перемещения, надежность.

ZAINULABIDOVA H. R.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF FLOOR STIFFNESS ON SEISMIC RESPONSE AND RELIABILITY

The influence of the level of rigidity of floors on seismic reaction and reliability of multi-storey buildings is investigated. The effect is given in the form of a non-stationary random process with different prevailing oscillation periods. the dynamic calculations of buildings with a height of 9, 12 and 17 storeys, the values of the displacements and distortions of floors, we have evaluated the influence of rigidity of floors on the characteristics of seismic response. By the method of statistical tests to determine the levels of reliability of buildings of different heights and stiffness for given maximum level of misalignment of the floors and the predominant period of oscillations of the soil. Shows the choice of the stiffness of the floors of the building, with preset parameters of earthquakes and reliability levels.

Keywords: seismic impact, non-stationary random process, multi-storey building, floor stiffness, displacement, reliability.



**Зайнулабидова
Ханзада
Рауповна**

кандидат технических наук,
доцент, кафедра
«Архитектура» ФГБОУ ВО
«Дагестанский государ-
ственный технический
университет»

e-mail: hanzada1@mail.ru

Введение

Поведение здания при сейсмическом воздействии во многом зависит от параметров воздействия на него [1, 3, 5, 12, 20]. Исследования в области теории сейсмостойкости позволили получить новые результаты, имеющие важное значение в формировании основных принципов сейсмостойкого строительства, выявлении взаимосвязи между параметрами сейсмического воздействия и характеристиками колебаний зданий, в том числе и с повреждениями [18, 19, 21].

В целом это не привело к упрощению задач по обеспечению сейсмостойкости зданий и сооружений, стоящих перед инженерами-конструкторами. Расчеты стали более сложными, а принятие проектного решения более ответственным. Несмотря на эти сложности и на еще сохранившиеся неопределенности и случайности в параметрах землетрясений, инженер-конструктор должен решать задачу по обеспечению надежности зданий, проек-

тируемых для строительства в сейсмических районах [7, 11].

В последние годы были проведены ряд исследований в области сейсмостойкости многоэтажных зданий, в работе [13] при исследовании 25-этажного здания гостиницы «Казахстан» в г. Алма-Аты на сейсмические воздействия получены представительные записи динамических характеристик здания. В исследованиях В.К. Вострова [9] предложены способы определения особых и аварийных сейсмических нагрузок и аварийных расчетных ситуаций, в работе Г.А. Джинчелашвили, С.В. Булушева, А.В. Колесникова [10] выполнен анализ существующих методов расчета зданий с заданным уровнем обеспеченности сейсмостойкости на основе критерия повреждаемости. Анализ поведения крупных сооружений при землетрясениях, проведенный в работе [14], показал еще раз существенное влияние параметров входных сейсмических воздействий на степень повреждаемости сооружений. Асимптотический метод

для расчета высотного здания с учетом податливости основания применен в работе А. Г. Тяпина [17]. Большая часть современных исследований сейсмостойкости проведены на основе действующих строительных норм [16].

Известно, что они не предусматривают использование вероятностных методов расчета, учитывающих случайный характер распределения прочности материалов конструкций и параметров самого сейсмического воздействия.

В конечном итоге мы не получаем показаний надежности (вероятности безотказности) сооружений при сейсмических воздействиях, которые являются определяющими при решении оптимизационных задач и выборе оптимального варианта конструктивного решения сооружения.

Поэтому более обоснованные уровни сейсмостойкости зданий можно получить применением вероятностных методов расчета. В настоящее время оценка надежности (вероятности безотказности) зданий при землетрясениях основывается на оценке вероятности невыхода параметров, определяющих качество системы, за пределы границы пространства качества [6, 8]. Эти исследования в большей степени основаны на аналитических моделях оценки надежности. Для многоэтажных зданий применение этих моделей вызывает ряд трудностей, связанных с определением сейсмической реакции здания с учетом корреляции масс в расчетной модели.

Постановка задачи

Многоэтажные здания являются сложными конструктивными системами с множеством взаимосвязанных несущих элементов, обладающих разными прочностными и жесткостными характеристиками, изменение которых приводит к изменению их динамических характеристик соответственно и сейсмической реакции. В большинстве случаев угрозу для городов и других населенных пунктов представляют сейсмические воздействия от разных очаговых зон, соответственно меняются и параметры самих воздействий, что опять-таки приводит к изменению сейсмической реакции зданий. В связи с этим возникает задача выбора таких параметров конструкций, которые приводят к минимуму сейсмической реакции в определенном интервале изменения параметров сейсмического воздействия.

В настоящей работе рассматриваются каркасные здания высотой 9, 12 и 17 этажей, рассчитанных согласно действующих строительных норм на проектное землетрясение (ПЗ) и моделируемые в виде линейных консольных стержней с сосредоточенными массами. Сейсмическое воздействие моделируется на ЭВМ в виде нестационарного случайного процесса. В работе исследуется надежность этих зданий методом статистических испытаний на ЭВМ, где количественные оценки надежности получаем в виде вероятностей невыхода перемещений (перекосов) этажей за предельный уровень при разных уровнях жесткости этажей и разных преобладающих периодах сейсмического воздействия. При каждой реализации случайного входного воздействия меняется и максимальное ускорение воздействия.

В конечном итоге мы получаем показатели надежности (вероятности безотказности) сооружений при сейсмических воздействиях, которые являются определяющими при решении оптимизационных задач и выборе оптимального варианта конструктивного решения сооружения.

Метод решения задачи

В данной работе представлена статистическая модель расчета надежности зданий повышенной этажности на сейсмическое воздействие, смоделированное в виде нестационарного случайного процесса.

В качестве расчетной принята консольная динамическая модель с сосредоточенными массами.

Сейсмическое воздействие моделируется в виде множества нестационарных гауссовских мультипликативных случайных процессов [2]. Каждый элемент этого множества, соответствующий какой-либо преобладающей частоте ω_j , представляет собой произведение огибающей $A(t, \omega_j)$ на стационарный случайный процесс $\varphi(t, \omega_j)$:

$$\Phi(t, \omega_j) = A(t, \omega_j) \cdot \varphi(t, \omega_j). \quad (1)$$

Огибающая принята в виде импульса Берлаге, $A(t, \omega_j) = A_j \cdot t \cdot e^{-\varepsilon \cdot t}$ и нормирована так, что $|A_{\max}| = 1$.

Стационарный случайный процесс

$$\varphi(t, \omega_j) = \sigma_j^2 \cdot \varphi(t, \omega_j), \text{ где } \sigma_j^2 - \text{дисперсия процесса;} \\ \varphi(t, \omega_j) - \text{нормированный (единичный) стационарный гауссовский случайный процесс, корреляционная функция которого в данном случае задается косинус-экспоненциальной зависимостью} - \\ k(\tau) = e^{-\alpha|\tau|} \cdot \cos \omega_j \cdot \tau. \quad (2)$$

Здесь: α — параметр, характеризующий ширину спектра; τ — продолжительность интенсивной фазы землетрясения.

Для генерирования искусственных акселерограмм в виде (1) по алгоритму, представленному в [2], составлена программа в среде программирования «Дельфи 5.0» на языке «Object Pascal».

Расчет зданий произведен на входное воздействие с параметрами: максимальное ускорение колебания грунта $a_{\max} = 300 \text{ см/с}^2$, диапазон преобладающего периода колебаний $T_j = 0,1 \div 0,9 \text{ с}$.

В качестве расчетной модели зданий принят консольный стержень с n степенями свободы (Иллюстрация 1).

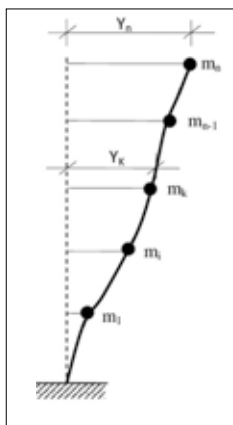


Иллюстрация 1. Расчетная модель здания, соответствующая моменту времени t

Уравнение движения системы, представленной на Иллюстрации 2, имеет вид [2]:

$$m_1 \cdot \ddot{Y}_1 + \beta_1 \cdot \dot{Y}_1 + \beta_2 \cdot (\dot{Y}_1 - \dot{Y}_2) - R_2(Y_2 - Y_1) = -m_1 \cdot \ddot{Y}_{\text{гр}}; \\ m_i \cdot \ddot{Y}_i + \beta_i \cdot (\dot{Y}_i - \dot{Y}_{i-1}) + R_i(Y_i - Y_{i-1}) + \beta_{i+1} \cdot (\dot{Y}_1 - \dot{Y}_{i+1}) - \\ - R_{i+1}(Y_{i+1} - Y_i) = -m_i \cdot \ddot{Y}_{\text{гр}}; \\ \dots \dots \dots \\ m_n \cdot \ddot{Y}_n + \beta_n \cdot (\dot{Y}_n - \dot{Y}_{n-1}) + R_n(Y_n - Y_{n-1}) = -m_n \cdot \ddot{Y}_{\text{гр}}, \quad (3)$$

где Y_i — горизонтальные перемещения i -й массы; $\dot{Y}_i$ — скорости i -й массы; $\ddot{Y}_i$ — ускорение i -й массы; m_i — величина i -й сосредоточенной массы; β_j — коэффициент вязкого трения, характеризующий затухание в точке i ; R_i — упругая реакция (жесткость) системы в i -м уровне (этаже); $\ddot{Y}_{\text{гр}}$ — ускорения колебания грунтов, представля-

емые в виде нестационарного случайного процесса во времени.

Для решения системы дифференциальных уравнений (3) на ЭВМ составлена программа в среде программирования «Дельфи 5.0» на языке «Object Pascal». При этом для интегрирования использован численный метод Рунге-Кутты 4-го порядка. Программа рассчитана для исследования консольных моделей, состоящих от 2 до 99 масс.

Для расчета приняты следующие исходные данные:

$m_i = 3,75 \text{ кН} \cdot \text{с}^2/\text{см}$; $m_n = 4,31 \text{ кН} \cdot \text{с}^2/\text{см}$; $\beta_i = 80,8 \text{ кН} \cdot \text{с}/\text{см}$; $\beta_n = 74,2 \text{ кН} \cdot \text{с}/\text{см}$; высота этажа $H_i = 300 \text{ см}$; $i = 1, 2, \dots, n-1$.

Оценка величин сейсмической реакции и надежности зданий производилась по следующему алгоритму:

1. Математическое ожидание перемещений уровней здания при числе испытаний N определяем по формуле:

$$M(Y_i) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{k=1}^N |Y_i|.$$

2. Относительный перекося этажа:

$$\theta_i = \frac{1}{N} \cdot \sum_{k=1}^N (Y_{ik} - Y_{i-1,k})_{\max} / H_i.$$

3. Сейсмическая нагрузка:

$$S_i = \frac{1}{N} \cdot \sum_{k=1}^N [R_i (|Y_{ik} - Y_{i-1,k}|) - R_{i+1} \cdot (|Y_{i+1,k} - Y_{ik}|_{\max})].$$

4. Вероятность непревышения заданного значения перекося i -м этажом оценивается по формуле:

$$P_i = 1 - \frac{N^*}{N}, \text{ где } N_i^* - \text{число испытаний, при которых}$$

для i -й массы выполняется условие:

$$\theta_i = \frac{|Y_i - Y_{i-1}|_{\max}}{H_i} > [\theta].$$

В данной работе предельный уровень перекося этажа $[\theta]$ принят равным $1/500$ [15].

5. Надежность здания определяется по схеме последовательного соединения элементов системы $P_T = \prod_{i=1}^n P_i$, где n — число этажей здания.

Число испытаний N в данных расчетах принято равным 100.

Результаты расчетов зданий приведены в Таблицах 1 и 2.

Исследование влияния параметра R_i на вероятность непревышения заданных уровней перекося этажей показало, что с увеличением этажности надежность здания снижается при неизменном показателе R_i . Для обеспечения высокого уровня безопасности величину R_i необходимо назначать в соответствии с высотой здания. Надо отметить, что с увеличением T_j увеличивается и P_T , это объясняется тем, что высокочастотные воздействия являются близкими к резонансным для рассматриваемых систем. На Иллюстрации 2 приведены графики максимальных перемещений 17-этажного здания при сейсмическом воздействии в зависимости от жесткости R_i . Здесь с увеличением R_i на 100% происходит снижение величины перемещений $[Y]$ в среднем на 5–6 см, т. е. примерно на 75%. Такая тенденция сохраняется и для зданий разной этажности.

Анализ результатов, приведенных на Иллюстрации 3, показал, что величины перемещений уровней здания прямо пропорциональны увеличению этажности здания, т. е. увеличение высоты здания на 1 этаж увеличивает перемещения уровней в среднем на 0,6 см, что составляет примерно 10%.

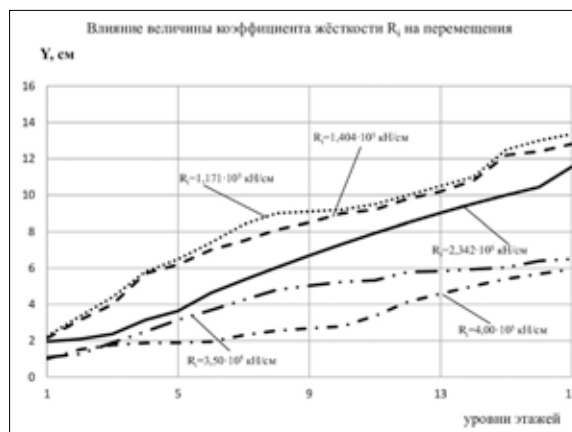


Иллюстрация 2. Зависимость максимальных перемещений уровней 17-этажного здания от жесткости этажей R_i при сейсмическом воздействии с параметрами: $a_{\max} = 300 \text{ см}/\text{с}^2$, $T_j = 0,3 \text{ с}$

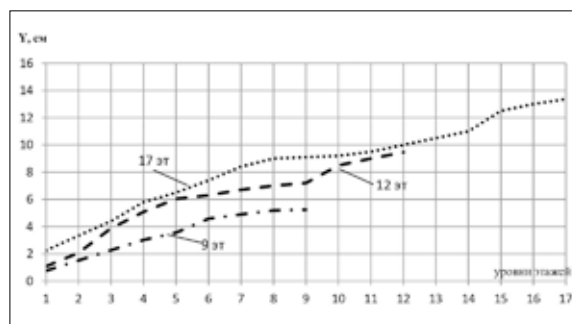


Иллюстрация 3. Максимальные перемещения уровней многоэтажных зданий при сейсмическом воздействии с параметрами $a_{\max} = 300 \text{ см}/\text{с}^2$ и $T_j = 0,3 \text{ с}$ и жесткости $R_i = 11,71 \cdot 10^5 \text{ кН}/\text{см}$

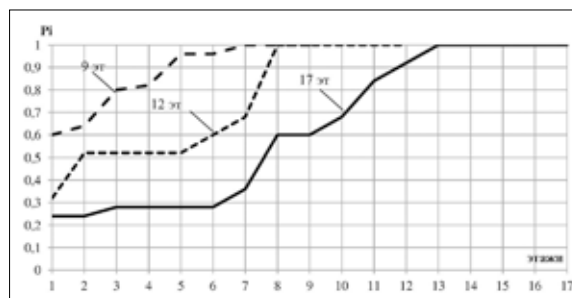


Иллюстрация 4. Графики распределений вероятностей непревышения предельного уровня перекося этажей зданий высотой 9, 12 и 17 этажей при сейсмическом воздействии с параметрами $a_{\max} = 300 \text{ см}/\text{с}^2$ и $T_j = 0,3 \text{ с}$ и заданной жесткости этажа $R_i = 11,71 \cdot 10^5 \text{ кН}/\text{см}$

Графики на Иллюстрации 4 наглядно демонстрируют, что независимо от этажности зданий вероятность непревышения предельного значения перекося этажа увеличивается по высоте. То есть, чем выше расчетный уровень здания, тем выше его вероятность безотказности.

Анализируя данные Таблиц 1 и 2, были выявлены наиболее рациональные величины жесткостей этажей в зависимости от высот зданий, обеспечивающие более высокие вероятности непревышения предельного перекося, т. е. надежность.

На Иллюстрации 5 показан график R_i , соответствующий вероятности $P_T = 0,999$.

Таблица 1. Выходные характеристики зданий при входном воздействии с параметрами $a_{\max} = 300 \text{ см/с}^2, T_j = 0,3 \text{ с}$

№ п/п	Жесткость i -го этажа, R_i , кН/см	Этажи	Математическое ожидание величины перемещения этажа, см	Максимальное перемещение этажа, см	Сейсмическая нагрузка в уровне i -го этажа, S_i , кН	Уровень надежности i -го этажа, P_i	Уровень надежности системы, P_T
$n=9 (H=18 \text{ м})$							
1	117 100	1	0,94	1,77	973	0,6	0,36
2		5	2,50	3,54	2610	0,96	
3		9	3,21	5,24	3412	1,0	
4	140 410	1	0,77	1,10	841	0,97	0,94
5		5	2,04	2,94	2348	1,0	
6		9	2,62	3,79	3099	1,0	
7	234 200	1	0,45	0,65	809	1,0	1,0
8		5	1,18	1,69	2 156	1,0	
9		9	1,51	2,15	2805	1,0	
$n=12 (H=36 \text{ м})$							
10	117 100	1	0,64	1,08	456	0,32	0,01
11		5	3,59	6,04	2566	0,6	
12		12	5,61	9,46	3926	1,0	
13	140 400	1	1,13	1,75	841	0,4	0,02
14		5	3,14	4,89	2321	0,6	
15		12	4,90	7,67	3714	1,0	
16	234 200	1	0,68	1,05	794	0,96	0,92
17		5	1,88	2,93	2202	1,0	
18		12	2,93	4,58	3608	1,0	
19	35 000	1	0,56	1,01	720	0,99	1,0
20		5	1,53	2,21	1950	1,0	
21		12	1,94	4,20	3579	1,0	
$n=17 (H=51 \text{ м})$							
19	117 100	1	1,44	2,14	539	0,2	0
20		5	4,17	6,20	1383	0,36	
21		17	8,6	12,81	2810	1,0	
22	140 400	1	1,3	2,25	625	0,24	0
23		5	3,76	6,49	1701	0,4	
24		17	7,81	13,36	3763	1,0	
25	234 200	1	1,12	1,96	888	0,36	0
26		5	3,25	5,64	2490	0,52	
27		17	6,71	11,56	5012	1,0	
28	35 000	1	0,75	1,09	694	0,84	0,43
29		5	2,15	3,15	1994	1,0	
30		17	4,39	6,50	4252	1,0	
31	400 000	1	0,67	1,0	789	0,99	1,0
32		5	1,93	2,89	2229	1,0	
33		17	3,97	5,94	4478	1,0	

Таблица 2. Надежность зданий P_T в зависимости от преобладающего периода колебания грунта

№ п/п	Этажность зданий, n	Жесткость этажа, R_i , кН/см	Показатель надежности P_T здания в зависимости от преобладающего периода колебания грунтов, T_j , с				
			0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
1	9	117 100	0,25	0,36	1	1	1
2		140 410	0,5	0,94	1	1	1
3		234 200	1	1	1	1	1
4	12	117 100	0,01	0,01	0,28	0,84	1
5		140 410	0,2	0,02	0,65	1	1
6		234 200	0,88	0,92	0,98	1	1
7		350 000	1	1	1	1	1
8	17	117 100	0	0	0	0	0
9		140 410	0	0	0	0	0,2
10		234 200	0,23	0,43	0,84	1	1
11		350 000	0,04	0,65	1	1	1
12		400 000	1	1	1	1	1

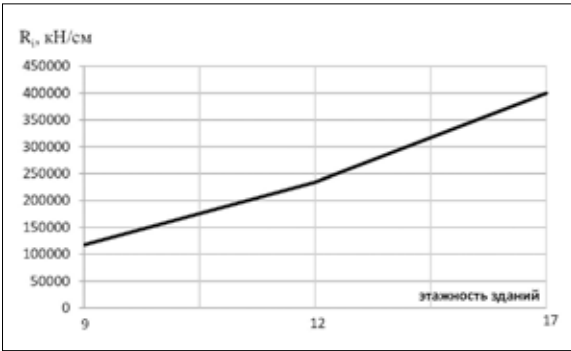


Иллюстрация 5. График зависимости рациональной жесткости R_i от этажности здания при вероятности неперевышения предельной величины перегиба этажа $P_i = 0,999$

График на Иллюстрации 5 можно описать зависимостью в виде экспоненциальной функции (4), достоверность аппроксимации которой достигает 99%.

$$R_i = 18,74 \cdot 10^4 \cdot e^{0,267 \cdot n}, \quad (4)$$

здесь n — число этажей здания.

Зависимость типа (4) позволяет выбрать рациональную величину показателя R_i в зависимости от этажности здания, если вероятность неперевышения предельного уровня перегиба этажа $P_i = 0,999$.

Заключение

Исследование степени влияния показателя жесткости этажа R_i на величины максимальных перемещений этажей показало, что с увеличением R_i на 10% уменьшаются величины перемещений уровней этажей в среднем на 20%, в то же время надежность зданий увеличивается на 7%.

Сейсмические нагрузки при увеличении R_i на 20% увеличиваются, но только на нижних уровнях в среднем на 10%.

При этом надо отметить, что с увеличением этажей здания сейсмические нагрузки уменьшаются на 10–12%. При дальнейшем увеличении R_i происходит увеличение надежности здания. Рассмотренные в работе здания относятся к объектам повышенного уровня ответственности, вероятность безотказной работы которых должна составлять не менее 0,9999. Достичь допустимого показателя вероятности P_T можно подобрав конструктивное решение здания с требуемым показателем жесткости R_i .

Исследования влияния жесткости R_i на динамические характеристики зданий проводились при сейсмических воздействиях, соответствующих поверхностной интенсивности 8,5 балла и для довольно узкого диапазона преобладающих периодов колебаний грунтов $T_j = 0,1 \div 0,9$ с.

Такой диапазон преобладающих периодов колебаний грунтов характерен для коротко- и среднeperиодных воздействий. Поэтому результаты исследований могут быть рекомендованы для территорий, очаги опасных землетрясений которых расположены на небольших расстояниях от объектов, а грунты основания являются I или II категории по сейсмическим свойствам.

Список использованной литературы

- Абакаров А. Д., Зайнулабидова Х. Р. Разработка региональной модели сейсмического воздействия // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. — 2001. — № 5. — С. 10–12.
- Айзенберг Я. М., Деглина М. М., Ногай В. В., Залилов К. Ю. Расчетная модель сейсмического движения грунта для проектирования сооружений в конкретных сейсмологических условиях // Вопросы инженерной сейсмологии. — 1984. — Вып. 25. — С. 34–42.
- Айзенберг Я. М. Сооружения с выключающимися связями для сейсмических районов. — М.: Стройиздат, 1976. — 232 с.
- Айзенберг Я. М. Статистическая расчетная модель сейсмического воздействия на сооружения // Сейсмические воздействия на гидротехнические и энергетические сооружения. — М.: Наука, 1980. — С. 5–10.
- Аптикаев Ф. Ф. Учет длительности колебаний при инструментальной оценке сейсмической интенсивности // Сейсмическая шкала и методы ее измерения. — М.: Наука, 1975. — С. 234–239.
- Болотин В. В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. — М.: Машиностроение, 1984. — 312 с.
- Болотин В. В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. — М., 1982. — 351 с.
- Булгаков С. Н., Тамразян А. Г., Рахман А. Г. Снижение рисков в строительстве при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера. — М.: МАКС Пресс, 2004. — 304 с.

- 9 Вострова В. К. Линейные и нелинейные колебания оснований с периодическими и почти периодическими сейсмическими воздействиями // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. — 2019. — № 2. — С. 33–42.
- 10 Джинчвелашвили Г. А., Булушев С. В., Колесников А. В. Статический метод анализа сейсмостойкости зданий и сооружений // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. — 2016. — № 5. — С. 39–47.
- 11 Завриев К. С. Основы теории сейсмостойкости зданий и сооружений. — М.: Стройиздат, 1970. — 224 с.
- 12 Корчинский И. Л. Сейсмостойкое строительство зданий. — М.: Высш. школа, 1971. — 320 с.
- 13 Лапин В. А., Ержанов С. Е., Даугавет В. П. Исследования изменения динамических характеристик высотного здания по данным инженерно-сейсмологических станций // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. — 2019. — № 2. — С. 38–45.
- 14 Поляков С. В., Килимник Л. Ш. Методика анализа результатов вибрационных испытаний зданий и крупномасштабных моделей // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. — 2018. — № 4. — С. 59–63.
- 15 СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07–85*.
- 16 СП 14.13330.2014 Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*. — М., 2016. — 131 с.
- 17 Тяпин А. Г., Топорков А. С., Михайлов В. С. Применение комбинированного асимптотического метода для расчета высотного здания на сейсмическое воздействие // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. — 2018. — № 4. — С. 32–43.
- 18 Benavent-Climent A. Concepts and implementation of seismic design based on operational characteristics. — 2010. — Vol. 30. — P. 354–367.
- 19 Gupta B. Improved building shear technique taking into account its characteristics to assess inelastic response under seismic loads, PhD thesis, Orlando, Florida, University of Central Florida. One thousand nine hundred ninety eight. 1998.
- 20 International Building Code 2006. First Printing: January, 2006.
- 21 Fajfar P., Krawinkler H. Concepts and implementation of seismic design based on operational characteristics // Proceedings of the International Workshop Bled, Slovenia, June 28 – July 1, 2004.
- Sejsmicheskaya shkala i metody ee izmereniya. — М.: Nauka, 1975. — С. 234–239.
- 6 Bolotin V. V. Prognozirovanie resursa mashin i konstrukcij. — М.: Mashinostroenie, 1984. — 312 s.
- 7 Bolotin V. V. Metody teorii veroyatnostej i teorii nadezhnosti v raschetah sooruzhenij. — М., 1982. — 351 s.
- 8 Bulgakov S. N., Tamrazyan A. G., Rahman A. G. Snizhenie riskov v stroitel'stve pri chrezvychajnyh situacijah prirodnoho i tekhnogennogo haraktera. — М.: MAKSPress, 2004. — 304 s.
- 9 Vostrova V. K. Linejnye i nelinejnye kolebaniya osnovanij s periodicheskimi i pochti periodicheskimi sejsmicheskimi vozdeystviyami // Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij. — 2019. — № 2. — С. 33–42.
- 10 Dzhinchvelashvili G. A., Bulushev S. V., Kolesnikov A. V. Staticheskij metod analiza sejsmostojkosti zdaniy i sooruzhenij // Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij. — 2016. — № 5. — С. 39–47.
- 11 Zavriev K. S. Osnovy teorii sejsmostojkosti zdaniy i sooruzhenij. — М.: Strojizdat, 1970. — 224 s.
- 12 Korchinskij I. L. Sejsmostojkoe stroitel'stvo zdaniy. — М.: Vyssh. shkola, 1971. — 320 s.
- 13 Lapin V. A., Erzhanov S. E., Daugavet V. P. Issledovaniya izmeneniya dinamicheskikh harakteristik vysotnogo zdaniya po dannym inzhenerno-sejsmologicheskikh stancij // Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij. — 2019. — № 2. — С. 38–45.
- 14 Polyakov S. V., Kilimnik L. Sh. Metodika analiza rezul'tatov vibracionnyh ispytaniy zdaniy i krupnomasshtabnyh modelej // Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij. — 2018. — № 4. — С. 59–63.
- 15 SP 20.13330.2011 Nagruzki i vozdeystviya. Aktualizirovannaya redakciya SNiP 2.01.07–85*.
- 16 SP 14.13330.2014 Stroitel'stvo v sejsmicheskikh rajonah. Aktualizirovannaya redakciya SNiP II-7-81*. — М., 2016. — 131 s.
- 17 Tyapin A. G., Toporkov A. S., Mihajlov V. S. Primenenie kombinirovannogo asimptoticheskogo metoda dlya rascheta vysotnogo zdaniya na sejsmicheskoe vozdeystvie // Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij. — 2018. — № 4. — С. 32–43.
- 18 Benavent-Climent A. Concepts and implementation of seismic design based on operational characteristics. — 2010. — Vol. 30. — P. 354–367.
- 19 Gupta B. Improved building shear technique taking into account its characteristics to assess inelastic response under seismic loads, PhD thesis, Orlando, Florida, University of Central Florida. One thousand nine hundred ninety eight. 1998.
- 20 International Building Code 2006. First Printing: January, 2006.
- 21 Fajfar P., Krawinkler H. Concepts and implementation of seismic design based on operational characteristics // Proceedings of the International Workshop Bled, Slovenia, June 28 – July 1, 2004.

References

- 1 Abakarov A. D., Zajnulabidova H. R. Razrabotka regional'noj modeli sejsmicheskogo vozdeystviya // Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij. — 2001. — № 5. — С. 10–12.
- 2 Ajzenberg Ya. M., Deglina M. M., Nogaj V. V., Zalilov K. Yu. Raschetnaya model' sejsmicheskogo dvizheniya grunta dlya proektirovaniya sooruzhenij v konkretnyh sejsmologicheskikh usloviyah // Voprosy inzhenernoj sejsmologii. — 1984. — Vyp. 25. — С. 34–42.
- 3 Ajzenberg Ya. M. Sooruzheniya s vyklyuchayushchimisya svyazami dlya sejsmicheskikh rajonov. — М.: Strojizdat, 1976. — 232 s.
- 4 Ajzenberg Ya. M. Statisticheskaya raschetnaya model' sejsmicheskogo vozdeystviya na sooruzheniya // Sejsmicheskije vozdeystviya na gidrotekhnicheskie i energeticheskie sooruzheniya. — М.: Nauka, 1980. — С. 5–10.
- 5 Aptikaev F. F. Uchet dlitel'nosti kolebanij pri instrumental'noj ocenke sejsmicheskoy intensivnosti //

Khanzada Zainulabidova

Candidate of Sciences in Technology, Associate Professor, Department «Architecture» FGBOU VO «Dagestan state technical university», Makhachkala, Russian Federation
e-mail: hanzada1@mail.ru

Статья поступила в редакцию в августе 2019 г.
Опубликована в декабре 2019 г.