«Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений»
3 (40) | 2019

Уздин А. М., д-р техн. наук, проф.,
Назарова Ш. Ш., аспирант,
Прокопович С. В., аспирант
(ФГБОУ ВО ПГУПС, г. Санкт-Петербург),
Акбиев Р. Т., канд. техн. наук
(ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России», г. Москва)

ПРОЕКТНОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ: ОБОСНОВАНИЕ, ПАРАМЕТРЫ, ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИ РАСЧЕТАХ СООРУЖЕНИЙ

Рассмотрены основные особенности расчета сооружений на действие проектного землетрясения. Отмечено, что подобные расчеты проводятся в России только для атомных станций. Действующие нормы ориентируются только на максимальное расчетное землетрясение. Термин «проектное землетрясение» был использован в нормах 2014 г. ошибочно и заменен в редакции 2018 г. на «расчетное землетрясение». Проектное землетрясение имеет малую повторяемость от 20 до 300 лет и после такого землетрясения сооружение работает в штатном режиме. Для проведения соответствующих расчетов необходимо задать уровень расчетной нагрузки и соответствующее ему предельное состояние. Эти вопросы анализируются в статье. Отмечается, что при ПЗ необходимо обеспечение работоспособности оборудования и исключение паники среди населения, прежде всего, для зрелищных и культовых сооружений. Это требование должно ограничивать уровни ускорений и смещений в определенном октавном диапазоне.

Ключевые слова: расчет сооружений, проектное землетрясение, максимальное расчетное землетрясение, предельное состояние, расчетная нагрузка

Ведение

В настоящее время в практике сейсмостойкого строительства осуществляется переход к многоуровневому проектированию сейсмостойких сооружений. При этом рассматривается несколько уровней воздействия и соответствующих им предельных состояний [1]—[5]. В перспективе такой подход должен привести к проектированию сценариев накопления повреждений в проектируемой конструкции [6]. Первая стадия перехода к многоуровневому проектированию — это двойной расчет сооружения на действие проектного (ПЗ) и максимального расчетного (МРЗ) землетрясений. При этом после ПЗ сооружение должно работать в штатном режиме, а после МРЗ необходимо исключить социальные потери и малоцикловую усталость или прогрессивное обрушение основных несущих конструкций [7]. Действующие нормы [8] ориентированы исключительно на расчеты сооружений на действие МРЗ. При этом расчетное землетрясение задается спектральной кривой, а контрольное — акселерограммой землетрясения. В обоих случаях в расчетных формулах для оценки сейсмостойкости используется коэффициент редукции K_1, зависящий от пластических свойств рассчитываемого сооружения. При проектировании предполагается, что при землетрясении возникнут те или иные повреждения конструкции [3]. Расчет на действие ПЗ не регламентирован российскими нормами. Такого рода расчеты выполняются в настоящее время в России только для зданий и оборудования АЭС. Для выполнения расчета на действие ПЗ необходимо задать уровень расчетной нагрузки и соответствующее ему предельное состояние.

Предельные состояния для расчета на действие ПЗ

Как отмечено выше, после ПЗ сооружение должно работать в штатном режиме. Это значит, что при уровне воздействия ПЗ все элементы конструкции должны работать упруго, без повреждений. Иными словами, должен выполнятся нормативный расчет при коэффициенте редукции K_1 равным 1 на ослабленное воздействие с пиковым ускорением $PGA=K_{ПЗ}\cdot Ag$, причем, $K_{ПЗ}$ служит для перехода к расчетным ускорениям ПЗ. Если система линейна, то расчет может выполняться по спектральной методике. Помимо традиционных условий прочности при расчете на ПЗ возникает необходимость дополнительных проверок условий нормальной эксплуатации сооружения. К числу этих проверок можно отнести:

1. Крепеж тяжелой мебели и оборудования.

2. Обеспечение работоспособности коммуникаций, в частности, сохранность газопроводных, водопроводных и канализационных сетей, сохранность дорожного покрытия для автомобильных дорог и рельсового пути для железных дорог, сохранность линий связи;

3. Обеспечение работоспособности оборудования, в частности, для больниц и поликлиник, а также, газораспределительных сетей;

4. Исключение паники среди населения, прежде всего, для зрелищных и культовых сооружений. Это требование должно ограничивать уровни ускорений и смещений в определенном октавном диапазоне.

Например, при проектировании высокоскоростных магистралей в сейсмически опасных районах следует оценивать поведение пути на насыпях и мостах, ограничивая смещения пути в плане и профиле (таблица 1). Следует также определять напряжения в рельсовых плетях на мостах или ограничивать смещения верха опор от ПЗ величиной $U_{\lim} < \sqrt{L}$, где $U_{\lim}$ берет-

Таблица 1 – **Ограничения перемещений рельсового пути в плане и профиле после ПЗ**

Изменение ширины колеи в плане		Изменение ширины колеи в профиле	
Уменьшение	Увеличение	Одновременное смещение рельсов	Взаимное смещение рельсов
20	10	25	5

Таблица 2 – **Допустимые значения уровня виброскорости в дБ**

Значение виброскорости	Частота, Гц				
	1	2	4	8	16
Максимум, дБ	117	91	82	76	75
Максимум, мм/с	36	1,8	0,63	0,32	0,29

Таблица 3 – **Зависимость пиковых ускорений и расчетных баллов от ситуационной сейсмичности**

Ситуационная сейсмичность	20 лет		50 лет		100 лет	
	PGA, м/с²	Расчетная балльность	PGA, м/с²	Расчетная балльность	PGA, м/с²	Расчетная балльность
6-6-7	0,0333	2,6701	0,0453	3,4659	0,0645	4,068
6-7-7	0,0371	3,0034	0,0544	3,7993	0,0815	4,4013
6-7-8	0,0426	3,3367	0,0673	4,1326	0,1055	4,7347
7-7-8	0,0505	3,6701	0,0856	4,4659	0,1389	5,068
7-8-8	0,0618	4,0034	0,1111	4,7993	0,1853	5,4013
7-8-9	0,0778	4,3367	0,1468	5,1326	0,2496	5,7347
8-8-9	0,1002	4,6701	0,1962	5,4659	0,3382	6,068
8-8-10	0,1315	5,0034	0,2646	5,7993	0,4599	6,4013
8-9-10	0,1751	5,3367	0,3589	6,1326	0,6266	6,7347
9-9-10	0,2355	5,6701	0,4882	6,4659	0,8545	7,068
9-10-10	0,3187	6,0034	0,6654	6,7993	1,165	7,4013

ся в см, а пролет моста — в м.

В зрелищных и культовых учреждениях следует ограничивать виброскорость. Допустимый уровень виброскорости по данным [9] составляет в диапазоне частот от 5 до 8 Гц примерно 75 Дб, а в диапазоне частот от 2 до 5 Гц около 100 Дб. На основе данных [9] можно рекомендовать допустимые значения виброскорости, приведенные в таблице 2.

Перевод виброскорости из традиционной размерности м/с в дБ осуществляется по формуле, рекомендованной в [9].

$$VdB = 20 \cdot \lg\left(\frac{V}{V_0}\right), \qquad (1)$$

где VdB — скорость, дБ;
V — скорость, м/с;
$V_0 = 5\times10^{-8}$ м/с.

Задание расчетных воздействий для моделирования ПЗ

Задание воздействия определяется требованиями собственника и сейсмологическими условиями площадки строительства. Собственник должен задать приемлемую для него повторяемость возникновения предельных состояний. После этого в зависимости от ситуационной сейсмичности на площадке строительства можно определить расчетный балл и PGA. Для этого можно использовать методику [10], [11] и соответствующую программу [12]. В развитие указанной методики и программы авторы использовали не три, а пять карт сейсмического районирования [13]. В таблице 3 представлены значения PGA для трех значений допустимой повторяемости $T_{гер}$ равной 20, 50 и 100 лет при различной ситуационной сейсмичности по картам ОСР-97 для расчетного периода колебаний 0,3 с.

Из таблицы видно, что расчет на ПЗ необходим далеко не всегда. При расчетном значении силы ПЗ < 4 баллов такой расчет теряет смысл. Поэтому следует проводить расчеты на действие ПЗ при высоких требованиях к штатной работе сооружения ($T_{гер} \geq 100$ лет). Это могут быть больницы, зрелищные и культовые сооружения. При $T_{гер} \approx 50$ лет необходимость в расчетах на действие ПЗ возникает на площадках с возможной силой землетрясения $I \geq 8$ баллов, а при $T_{гер}$ < 20 лет учет ПЗ целесообразен при повторяемости 8-балльных воздействий чаще, чем раз в 1000 лет.

Кроме PGA для моделирования расчетного воздействия следует определить и другие его характеристики. К ним относятся коэффициент гармоничности к и энергетические характеристики — интенсивность по Ариасу и абсолютная кумулятивная скорость CAV. Энергетические характеристики могут иметь значение для задания ПЗ в районах с сейсмичностью более 9, когда ПЗ может приводить к нарушению прочности несущих конструкций. Однако главными характеристиками ПЗ для расчета линейных систем следует считать PGA и коэффициент гармоничности к.

Особенности расчета на ПЗ

Как следует из выше изложенного, расчеты на ПЗ можно подразделить на две группы. К первой группе расчетов относятся прочностные расчеты несущих конструкции. Их следует выполнять в районах с $I_в > 10$. Ко второй группе расчетов относится построение поэтажных акселерограмм и спектров. По ним оценивается сейсмостойкость оборудования и возможность психического воздействия землетрясения на людей.

Оценка сейсмической нагрузки

При ПЗ сооружение работает упруго и без повреждений. Это позволяет строго использовать ЛСМ для оценки усилий в элементах сооружения, если оно не снабжено нелинейной сейсмозащитой. Например, здания с фундаментами А.В. Курзанова и с фундаментами Ю.Д. Черпинского [3] существенно нелинейны и требуют численного решения уравнения их колебаний. В остальных случаях сейсмические нагрузки оцениваются по известным формулам

$$s_{i,j} = AgK_1K_{ПЗ}m_i\beta(T_j)\eta_{ij}. \qquad (2)$$

Здесь в отличие от действующих сводов правил (СП) введен коэффициент $K_{ПЗ}$, обеспечивающий переход от PGA при МРЗ, регламентируемых СП, к PGA ПЗ. Другие множители соответствуют СП [8]. Коэффициент предельных состояний должен приниматься равным 1. Отметим, что величина $K_{ПЗ}$ однозначно определяется ситуационной сейсмичностью площадки строительства и допустимой повторяемостью нарушения нормальной эксплуатации объекта.

Поскольку повторяемость ПЗ достаточно высокая (раз в 50-100 лет), расчет на ПЗ можно рассматривать, как расчет на дополнительные сочетания нагрузок и принимать коэффициенты сочетаний соответствующим образом [5].

Построение поэтажных акселерограмм и спектров

Как следует из вышеизложенного, при расчете сооружения на действие ПЗ возникает необходимость проводить расчет поэтажных акселерограмм (ПА) и поэтажных спектров (ПС).

Особо следует отметить психологическое воздействие землетрясений на людей. Этот вопрос уже рассматривался в [14]. В культовых, зрелищных и других сооружениях с массовым скоплением

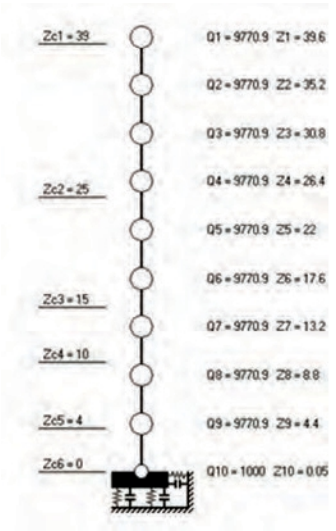


Рисунок 1 — Расчетная модель 9-этажного здания

Таблица 4 – **Параметры колебаний рассматриваемых зданий**

Изолированное 9-этажное здание						
Тип основания	Период T, с			Модальное затухание		
Нескальное E_0 = 330 МПа	3,938	0,39	0,071	0,295	0,144	0,103
Скальное	3,887	0,249	0,067	0,298	0,108	0,102
Неизолированное 9-этажное здание						
Нескальное E_0 = 330 МПа	0,818	0,141	0,062	0,145	0,141	0,12
Скальное	0,433	0,105	0,051	0,1	0,1	0,1
Неизолированное 5-этажное здание						
Скальное	0,355	0,0695	0,0317	0,1	0,1	0,1

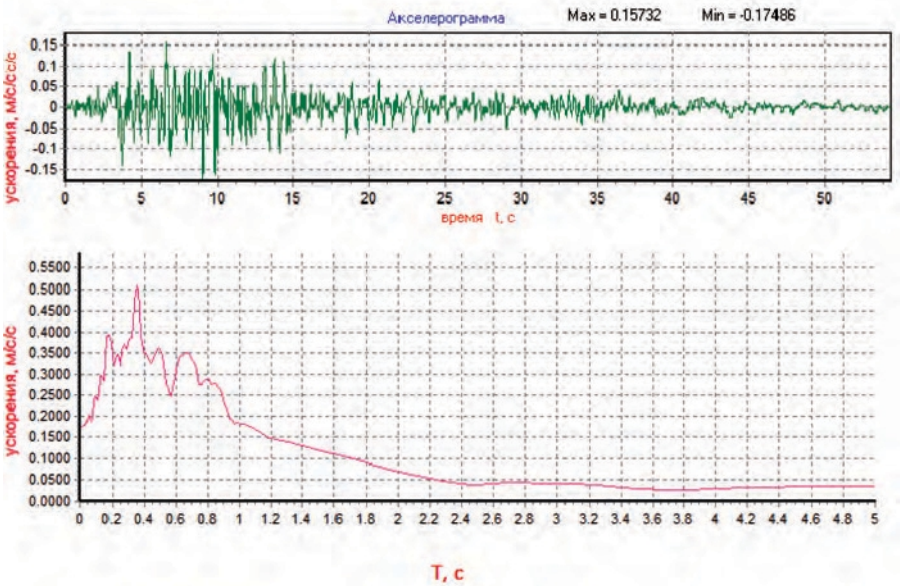


Рисунок 2 — Резонансное воздействие для 5-этажного здания

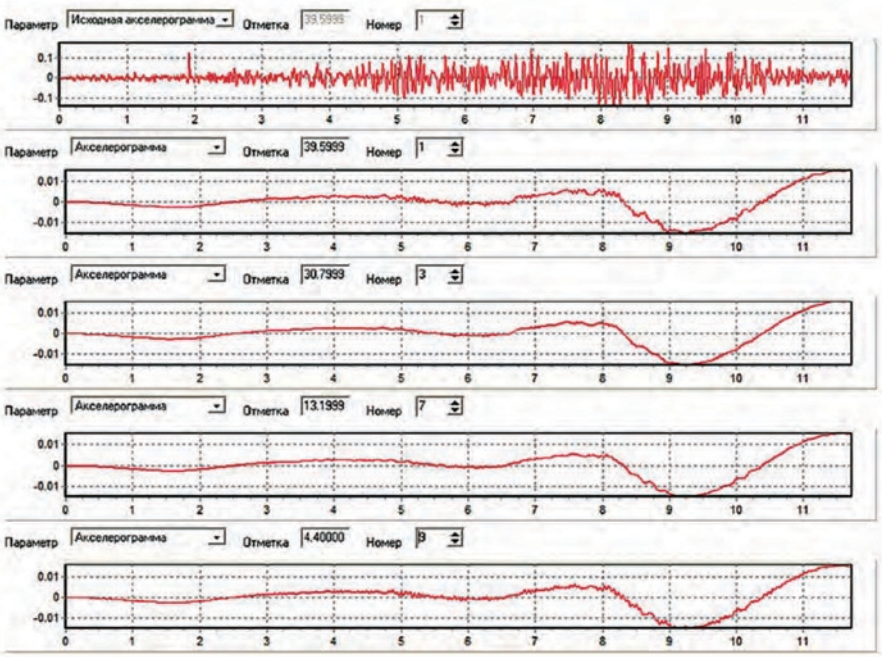


Рисунок 3 — Поэтажные акселерограммы для изолированного сооружения на скальном основании. Высокочастотное воздействие

людей слабый толчок безопасный для сооружения может вызвать панику и люди, пытаясь покинуть помещение, могут нанести друг другу повреждения. Ниже приводятся примеры построения ПА для двух 9-этажных и одного 5-этажного здания. Параметры колебаний зданий приведены в таблице 4. Расчетная схема 9-этажного здания приведена на рисунке 1.

Для анализа было выбрано 5 реальных воздействий (таблицы 5, 6, рисунок 2), которые отнормированы на 0,175 м/с^2. Формально это соответствует силе воздействия 5 баллов по шкале Ф. Ф. Аптикаева [15], [16].

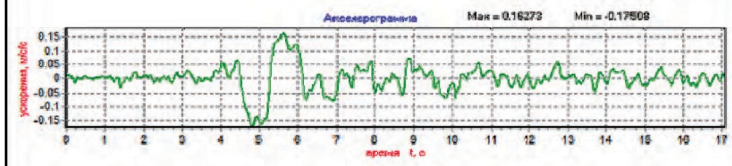
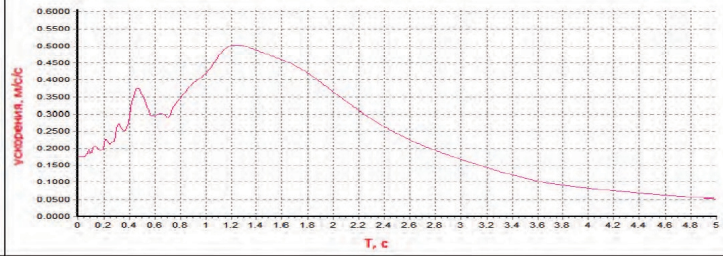
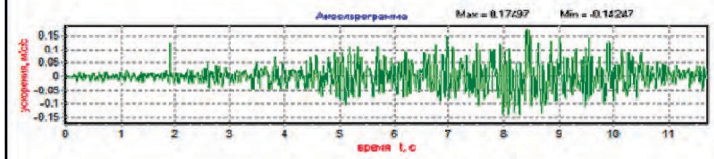
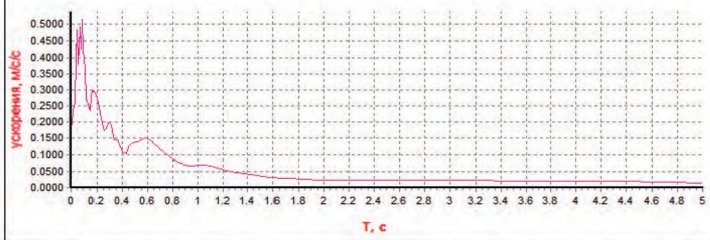
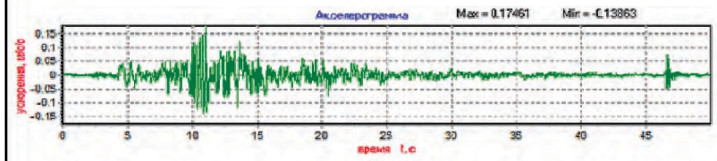
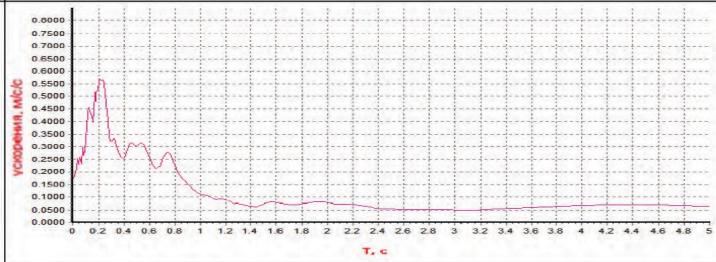
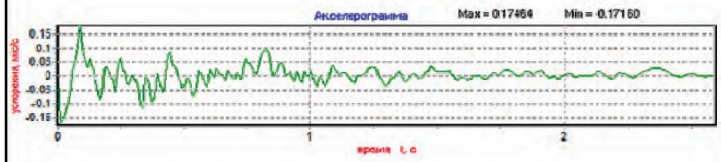
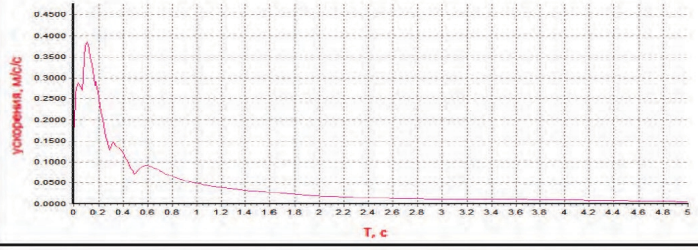
Расчет сейсмоизолированного здания подтвердил известные результаты исследования систем сейсмоизоляции [17], отмечающих, что сейсмоизолированные системы не чувствительны к характеристикам грунтового основания и сейсмоизоляция служит фильтром для высокочастотных воздействий. В качестве иллюстрации на рисунках 3 и 4 приведены результаты расчета на действие акселерограммы Газли. Сооружение смещается как жесткое целое с ускорениями, которые более чем в 5 раз меньше ускорения основания.

Однако ситуация кардинально изменилась при рассмотрении колебаний неизолированного здания: оказалось, что на последних этажах здания, ускорения могут в 4 раза превосходить ускорения основания. В примере, представленном на рисунке 5, ускорения основания возросли с 0,175 м/с^2 до 0,5 м/с^2, что соответствует 7 балльным воздействиям.

Это говорит о том, что для обычных зданий при расчете на ПЗ требуется построение поэтажных спектров, тогда как сейсмоизоляция обеспечивает несущую способность и безотказность оборудования в тех же условиях.

Для подбора оборудования в дополнение к ПА возникает необходимость построения ПС. Пример такого спектра

Таблица 5 – **Расчетные нормированные воздействия**

Акселерограмма	Спектр ускорений	Характеристики воздействия			
		I_A, м/с	CAV, м/с	PGA, м/с^2	κ
		0,0057	0,483	0,175	1,02
		0,0029	0,322	0,175	13,88
		0,0041	0,638	0,175	6,17
		0,0005	0,053	0,175	14,77

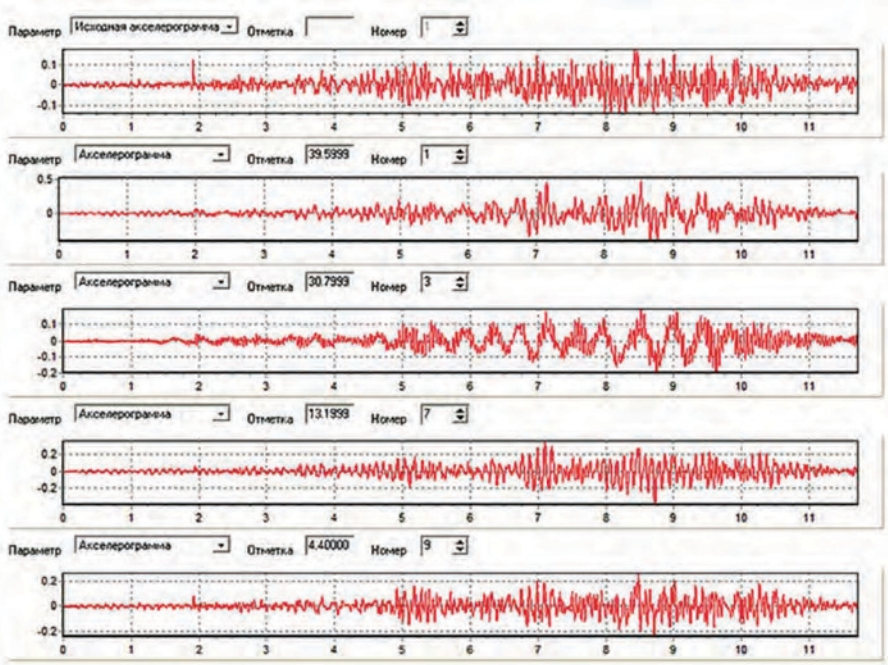


Рисунок 4 — Поэтажные акселерограммы для неизолированного сооружения на скальном основании. Высокочастотное воздействие

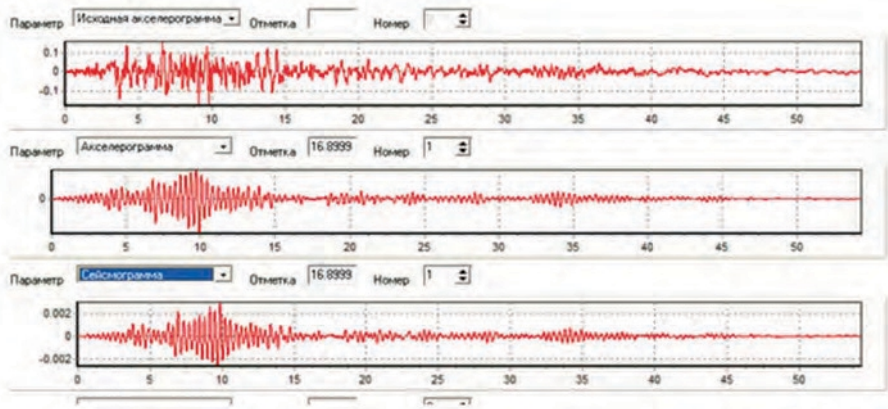


Рисунок 5 — Поэтажная акселерограмма и сейсмограмма для верхнего этажа неизолированного 5-этажного здания. Резонансное воздействие

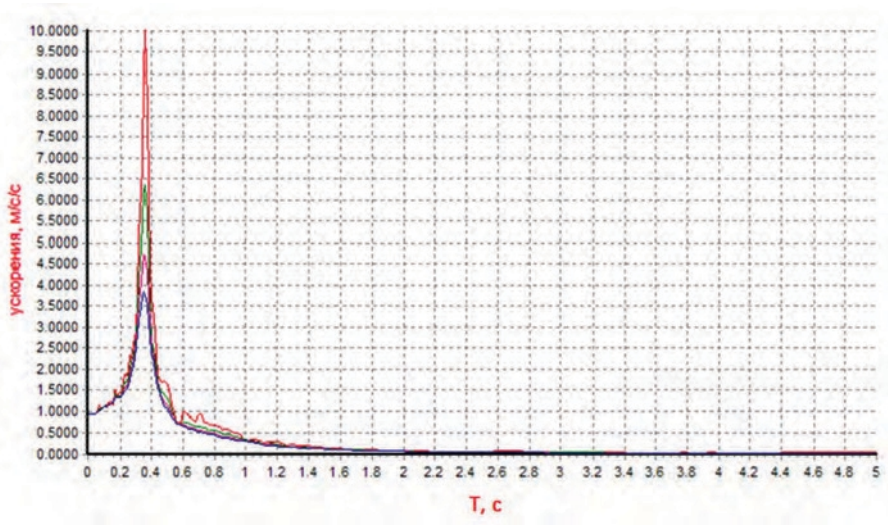


Рисунок 6 — Поэтажный спектр ускорений для верхнего этажа неизолированного 5-этажного здания

Таблица 6

Характеристики резонансного воздействия для 5-этажного здания			
I_A, м/с	CAV, м/с	PGA,м/с^2	к
0,00697	0,987	0,175	13,24

для пятого этажа 5-этажного здания представлен на рисунке 6.

Для оценки опасности воздействия на людей возникает необходимость работать с поэтажными велосиграммами. Пример такой велосиграммы для рассмотренного 5-этажного здания от акселерограммы Линкольн показан на рисунке 7.

Максимум виброскорости в рассмотренном примере составил 0,053 м/с или примерно 140 дБ, что превышает допустимый уровень по таблице 5.

Заключение

1. В районах, где возможны 8-балльные землетрясения переход к многоуровневому проектированию потребует проведение расчета сооружений на действие ПЗ. Исключения составляют сейсмоизолированные сооружения, для которых расчет на ПЗ не требуется.

2. На площадках с возможными 9-балльными землетрясениями расчет на ПЗ может потребовать некоторого усиления несущих конструкций. В остальных случаях расчет на ПЗ необходим для обеспечения работы оборудования, исключения травмирования или паники людей.

3. Силовой расчет несущих конструкций на действие ПЗ может выполняться по линейно спектральной методике при коэффициенте предельных состояний (редукции) $К_1$ = 1, но с введением коэффициента $К_{ПЗ}$ перехода от расчетных ускорений МРЗ к расчетным ускорениям ПЗ

4. Для выполнения требований к оборудованию и безопасности людей при ПЗ возникает необходимость построения поэтажных акселерограмм и их спектров.

5. При моделировании расчетных акселерограмм ПЗ основное внимание следует уделять обеспечению PGA и коэффициента гармоничности к.

Библиография

1. Килимник Л. Ш. Методы целенаправленного проектирования в сейсмостойком строительстве. — М.: Наука. 1985. 155 с.

2. Fardis M. N. Code developments in earthquake engineering. Published by Elsevier Science Ltd. 12th European Conference on Earthquake Engineering. Paper Reference 845, 2002.

3. Уздин А. М., Елизаров С. В., Белаш Т. А. Сейсмостойкие конструкции транспортных зданий и сооружений. Учебное пособие. ФГОУ «Учебно-

методический центр по образованию на железнодорожном транспорте». 2012. 500 с.
4. Foravante V., Madabhushi G., Benin A. V., Elizarov S. V., Uzdin A. M., Fedotova I. A., Dolgaya A. A., Sakharov O. A. Performance based designing of high-rise base isolated buildings. International workshop «Base isolated high-rise buildings», Yerevan, 2008, pp. 98-107.
5. Kuznetsova I. O., Sakharov O. A., Uzdin A. M. Estimating combination coefficients for performance based designing (PBD)./First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology Geneva, Switzerland, 3-8 September 2006, Paper Number: 190.
6. Carlos Sousa Oliveira, Monica A. Ferreira, and F. Mota Sá Earthquake Risk Reduction: From Scenario Simulators Including Systemic Interdependency to Impact Indicators. // Perspectives on European Earthquake Engineering and Seismology, edit. Atilla Ansal, 2014, Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London, pp. 309-331.
7. Гольденблат И. И., Николаенко Н. А., Поляков С. В., Ульянов С. В. Модели сейсмостойкости сооружений. — М.: Стройиздат. 1979. 251 с.
8. СП 14.13330.2018 «СНиП II-7-81 Строительство в сейсмических районах».*
9. ГОСТ 12.1.003-83 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности.

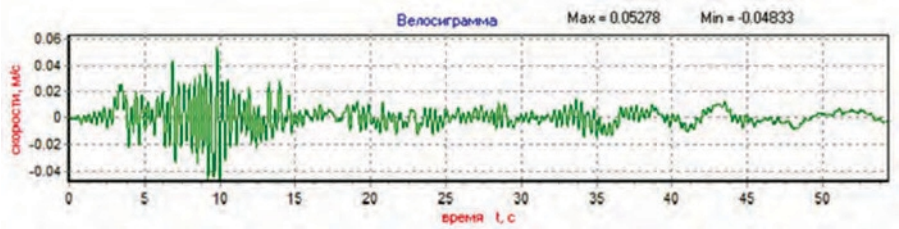


Рисунок 7 — Велосиграмма для 5 этажа неизолированного 5-этажного здания

10. Арещенко Т. С., Прокопович С. В., Сабирова О. Б., Фролова Е. Д. Задание уровня сейсмического воздействия для оценки сейсмостойкости сооружений при многоуровневом проектировании. // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2018. № 4. С. 25-27.
11. Нестерова О. П., Ткаченко А. С., Уздин А. М., Долгая А. А., Смирнова Л. Н., Гуань Юхай. К вопросу о задании уровня сейсмического воздействия в шкалах балльности и нормах проектирования. // Вопросы инженерной сейсмологии. 2018. Т. 45. № 1. С. 73-80.
12. Арещенко Т. С., Прокопович С. В., Сабирова О. Б., Фролова Е. Д., Уздин А. М. Программа определения пиковых ускорений сейсмического воздействия. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018664350 от 14.11.2018.
13. Уломов В. И., Богданов М. И. Новый комплекс карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации (ОСР-2012). // Инженерные изыскания. № 8. 2013. С. 30-39.
14. Масляев А. В. Основные критерии сейсмозащиты зданий и сооружений при землетрясении. // Жилищное строительство. 2008. № 2. С. 24-26.
15. Аптикаев Ф. Ф. Инструментальная шкала сейсмической интенсивности. — М.: ООО «Наука и образование». 2012. 176 с.
16. ГОСТ Р 57546-2017 Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности.
17. Уздин А. М., Долгая А. А. Расчет элементов и оптимизация параметров сейсмоизолирующих фундаментов. — М.: ВНИИНТПИ. 1997. 76 с.

eng

Uzdin A. M., Nazarova S. S., Prokopovich S. V., Akbiev R. T.

DESIGN EARTHQUAKE: RATIONALE, OPTIONS AND SPECIFIC APPLICATIONS IN THE ANALYSIS OF STRUCTURES

The main features of the calculation of structures for the effect of the project earthquake are considered. It is noted that such calculations are carried out in Russia only for nuclear power plants. The current rules rely only on the maximum credible earthquake. The term «project earthquake» was used in the norms of 2014 by mistake and was replaced in the 2018 edition by «estimated earthquake». The design earthquake has a small repeatability from 20 to 300 years and after such earthquake the construction works in the normal mode. To carry out the corresponding calculations, it is necessary to set the level of the design load and the corresponding limit state. These issues are analyzed in the article. It is noted that in case of PZ it is necessary to ensure the efficiency of the equipment and the exclusion of panic among the population, especially for entertainment and religious buildings. This requirement should limit the acceleration and displacement levels in a certain octave range.

Keywords: calculation of structures, design earthquake, maximum design earthquake, limit state, design load

References

1. Kilimnik L. SH. Metody celenapravlennogo proektirovaniya v sejsmostojkom stroitel»stve. — M.: Nauka. 1985. 155 p. (in Russian)
2. Fardis M. N. Code developments in earthquake engineering. Published by Elsevier Science Ltd. 12th European Conference on Earthquake Engineering. Paper Reference 845, 2002.
3. Uzdin A. M., Elizarov S. V., Belash T. A. Sejsmostojkie konstrukcii transportnyh zdanij i sooruzhenij. Uchebnoe posobie. FGOU «Uchebno-metodicheskij centr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte». 2012. 500 p. (in Russian)
4. Foravante V., Madabhushi G., Benin A. V., Elizarov S. V., Uzdin A. M., Fedotova I. A., Dolgaya A. A., Sakharov O. A. Performance based designing of high-rise base isolated buildings. International workshop «Base isolated high-rise buildings», Yerevan, 2008, pp. 98-107.
5. Kuznetsova I. O., Sakharov O. A., Uzdin A. M. Estimating combination coefficients for performance based designing (PBD)./First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology Geneva, Switzerland, 3-8 September 2006, Paper Number: 190.
6. Carlos Sousa Oliveira, Monica A. Ferreira, and F. Mota Sá Earthquake Risk Reduction: From Scenario Simulators Including Systemic Interdependency to Impact Indicators. // Perspectives on European Earthquake Engineering and Seismology, edit. Atilla Ansal, 2014, Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London, pp. 309-331.
7. Gol»denblat I. I., Nikolaenko N. A., Polyakov S. V., Ul»yanov S. V. Modeli sejsmostojkosti sooruzhenij. — M.: Strojizdat. 1979. 251 p. (in Russian)
8. SP 14.13330.2018 «SNiP II-7-81 Stroitel»stvo v sejsmicheskih rajonah». (in Russian)*
9. GOST 12.1.003-83 Sistema standartov bezopasnosti truda. SHum. Obshchie trebovaniya bezopasnosti. (in Russian)
10. Areshchenko T. S., Prokopovich S. V., Sabirova O. B., Frolova E. D. Zadanie urovnya sejsmicheskogo vozdejstviya dlya ocenki sejsmostojkosti sooruzhenij pri mnogourovnevom proektirovanii. // Prirodnye i tekhnogennye riski. Bezopasnost» sooruzhenij. 2018. № 4. Pp. 25-27. (in Russian)
11. Nesterova O. P., Tkachenko A. S., Uzdin A. M., Dolgaya A. A., Smirnova L. N., Guan» YUhaj. K voprosu o zadanii urovnya sejsmicheskogo vozdejstviya v shkalah ball»nosti i normah proektirovaniya. // Voprosy inzhenernoj sejsmologii. 2018. T. 45. № 1. Pp. 73-80. (in Russian)
12. Areshchenko T. S., Prokopovich S. V., Sabirova O. B., Frolova E. D., Uzdin A. M. Programma opredeleniya pikovyh uskorenij sejsmicheskogo vozdejstviya. Svidetel»stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM № 2018664350 ot 14.11.2018. (in Russian)
13. Ulomov V. I., Bogdanov M. I. Novyj kompleks kart obshchego sejsmicheskogo rajonirovaniya territorii Rossijskoj Federacii (OSR-2012). // Inzhenernye izyskaniya. № 8. 2013. Pp. 30-39. (in Russian)
14. Maslyaev A. V. Osnovnye kriterii sejsmozashchity zdanij i sooruzhenij pri zemletryasenii. // ZHilishchnoe stroitel»stvo. 2008. № 2. Pp. 24-26. (in Russian)
15. Aptikaev F. F. Instrumental»naya shkala sejsmicheskoj intensivnosti. — M.: OOO «Nauka i obrazovanie». 2012. 176 p. (in Russian)
16. GOST R 57546-2017 Zemletryaseniya. SHkala sejsmicheskoj intensivnosti. (in Russian)
17. Uzdin A. M., Dolgaya A. A. Raschet elementov i optimizaciya parametrov sejsmoizoliruyushchih fundamentov. — M.: VNIINTPI. 1997. 76 p. (in Russian)