

УДК 69.059

Н. Л. Тарануха, доктор экономических наук

Анас Ибрахим, магистрант

Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

СЕЙСМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЗДАНИЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

В статье представлено, как определить силы, переданные структурным элементам в многоэтажных зданиях от сейсмической силы в соответствии со статическим методом в американском коде UBC 97.

Ключевые слова: сейсмический анализ; шкала Рихтера; статический анализ; силы сдвига; UBC 97; стена.

Введение

Землетрясения являются естественным явлением, которое возникает в почве в результате движения каменных плит. Его эффект распространяется на поверхность земли. Он производит серию вибраций – сотрясения, за которыми следуют перелом во внутренних породах и их удаление как результат геологических эффектов. Разные трещины возникают,

увеличиваются и уменьшаются в слоях земли, высокие волны вызывают цунами и другие катастрофы.

1. Шкала Рихтера: шкала Рихтера (предложено сейсмологом Чарльзом Фрэнсисом Рихтером в 1935 г.) представляет собой численный масштаб, используемый для описания землетрясений. Землетрясения силой 4,5 баллов или более по шкале могут быть измерены по всему миру [1] (табл. 1).

Таблица 1. Шкала Рихтера

Шкала Рихтера	Описание	Воздействие землетрясения	Рекуррентность
6.0–6.9	Сильное	Может нанести большой урон до 160 км от эпицентра	120 ежегодно
7.0–7.9	Очень сильное	Может нанести значительный урон большой площади	18 ежегодно
8.0–8.9	Большие	Может нанести значительный урон даже в сотнях километров от эпицентра	1 ежегодно
9.0–9.9		Может нанести значительный урон даже в тысячах миль от эпицентра	Один раз в 20 лет
10.0+	Сверхъестественное	–	Редко

2. Цель стандартов сейсмического проектирования для объектов

Землетрясения создают уникальную инженерную проблему. Когда происходят сильные землетрясения, то максимальной нагрузке может быть подвержена любая конструкция. Но вероятность того, что конструкция будет показана в ее виртуальной жизни до такого землетрясения, считается очень малой. Именно поэтому сейсмическая спецификация направлена на обеспечение более низкого уровня расчетных показателей несущих конструкций:

1. Устойчивость к слабым землетрясениям без повреждений.

2. Устойчивость к средним землетрясениям без серьезных структурных повреждений, допускаются некоторые неструктурные повреждения.

3. Сопротивление высокоинтенсивным землетрясениям без разрушения структурной системы, но допускаются сильные структурные трещины в здании.

3. Устойчивые к землетрясениям структурные системы

Существуют три элемента, которые противостоят горизонтальным силам, стенке сдвига, сопротивлению рамки «Момент». В горизонтальной плоскости используются твердые мембраны (часто полы и поверхности) или горизонтальные фермы.

3.1. Стены сдвига [2]

Стены сдвига представляют собой консольные вертикальные стенки, предназначенные для получения горизонтальных сил твердых мембран и переноса их на землю.

В этих стенах преобладают силы сдвига.

3.2. Сопротивление рамки «Момент» [3].

Когда резистивная рама сопротивляется силам горизонтальных сейсмических сил, это сопротивление достигается за счет сгибания сдвиговых и поперечных сил, возникающих в колоннах и лучах, соединенных друг с другом, удерживаются сильные соединения.

4. Типы сейсмического анализа [4]

4.1. Статический анализ, где требуется только два типа движения в соответствии с двумя основными направлениями здания.

Поскольку в любом здании следует знать массу и жесткость каждого пола, на которые надвигается сила сдвига на каждом этаже центра массы и переносится в центр жесткости как сила и момент, то создается три шаблона отклика, два движения и вращения.

4.2. Динамический анализ

Учитываются все реакции здания. Конструктивные схемы, спектры, даты, записи времени, хронология.

5. Статический анализ [5]

Регионы Земли разделены на сейсмические зоны в соответствии с потенциальными значениями PGA на слои твердой породы с вероятностью сдвига не более 90 % на см/сек². Эти значения помещаются в таблицы или отображаются на картах (табл. 2).

Таблица 2. Сейсмические зоны

Показатель	Обозначение сейсмической зоны						
	Регион Земли	(1)	(2A)	(2B)	(2C)	(3)	(4)

Процедуры, используемые при статическом анализе сейсмических сил, могут быть использованы для следующих объектов:

1. Все регулярные и нерегулярные структуры в сейсмической зоне.

2. Все типы зданий (3) сейсмической зоны (2), за исключением жилых и промышленных зданий.

3. Регулярные сооружения с высотой не более 73 м с обеспечением устойчивости к сейсмическим силам с использованием сейсмоустойчивых элементов.

4. Нерегулярные сооружения, которые не превышают 5 этажей или высотой не более 20 м.

Метод направлен на то, чтобы увеличить силовую нагрузку от землетрясений, воздействующую на объект.

5.1. Расчет силы сдвига [6]:

$$V = W \frac{C_v I}{R t},$$

где W – мертвые грузы (вес здания); C_v – в зависимости от типа почвы и Z (здесь Z – коэффициент сейсмической зоны (табл. 3)); I – коэффициент важности структуры; R – коэффициент по типу структурного типа; t – время длины волны

Таблица 3. Коэффициент сейсмической зоны Z

Регион	1	2A	2B	2C	3	4
Z	0,075	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40

Время начала отсчета вибрации рассчитывается исходя из следующего соотношения:

$$T_a = 0,0488(h_n)^{3/4}.$$

Таблица 4. Коэффициент C_a

Модель	Коэффициент сейсмической зоны					
	$Z = 0,075$	$Z = 0,15$	$Z = 0,2$	$Z = 0,25$	$Z = 0,3$	$Z = 0,4$
SA	0,06	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32 Na
SB	0,08	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40 Na
SC	0,09	0,18	0,24	0,29	0,33	0,40 Na
SD	0,12	0,22	0,28	0,32	0,36	0,44 Na
SE	0,19	0,30	0,34	0,35	0,36	0,36 Na

Прочность на сдвиг сравнивается с двумя значениями:

– минимальный сдвиг основания:

$$V_{\min} = 0,11 \cdot CaIW;$$

– максимальный сдвиг основания:

$$V_{\max} = 2,5 \cdot \frac{CaIW}{R}.$$

Нагрузка W для сейсмического расчета равна суммарной полной мертвой нагрузке в дополнение к другим нагрузкам, классифицированным следующим образом:

1. На складах и в магазинах минимальный процент занимает менее 25 % живого груза этажей.

2. Если в конструкции полов не используются тяжелые резки, должна быть сделана нагрузка не менее 0,5 кН/м². Тяжелые резки должны взвешиваться в постоянных весах.

3. Пренебрегает снегом при переносе меньше его значения (1,5 кН/м²). Но когда снежная нагрузка превышает расчетное значение (1,5 кН/м²), мы ее учитываем.

4. Полная масса постоянного оборудования учитывается полностью.

Необходимо указать сейсмические коэффициенты, которые соответствуют характеристикам сайта для показателей C_a , C_v , которые относятся к классификации сейсмической почвы и классификации сейсмической зоны (табл. 4–7).

Определение поперечных сортов почвы SE , SD , SC , SB , SA :

S – допустимое напряжение грунта не менее 4,5 кг/см², по крайней мере, глубина 30 м.

SB – допустимое напряжение грунта не менее 3,5 кг/см², по крайней мере, глубина 20 м.

SC – допустимое напряжение грунта не менее 3 кг/см², по крайней мере, глубина 15 м.

SD – допустимое напряжение грунта не менее 2,5 кг/см², по крайней мере, глубина 15 м.

SE – допустимое напряжение грунта не менее 2,0 кг/см², по крайней мере, глубина 15 м.

Основываясь на классификации сейсмических почв и значении Z , мы находим значения C_v , C_a .

Таблица 5. Коэффициент C_v

Модель	Коэффициент сейсмической зоны					
	$Z = 0,075$	$Z = 0,15$	$Z = 0,2$	$Z = 0,25$	$Z = 0,3$	$Z = 0,4$
SA	0,06	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32 Nv
SB	0,08	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40 Nv
SC	0,13	0,25	0,32	0,38	0,45	0,56 Nv
SD	0,18	0,32	0,40	0,47	0,54	0,64Nv
SE	0,26	0,50	0,64	0,74	0,84	0,96 Nv

Таблица 6. Сейсмический коэффициент. Важность

Типы или функции объекта	I
Здания, содержащие средства для хирургических операций и экстренного лечения	1,25
Пожарные станции и полицейские участки	
Гаражи и стоянки для аварийных механизмов, а также аварийных аэропортов	
Услуги и приюты, расположенные в центрах готовности к чрезвычайным ситуациям	
Авиационные контрольные башни	
Услуги и оборудование в правительственных колл-центрах и других объектах, необходимых для реагирования на экстренную эвакуацию	
Оборудование для производства электроэнергии. Важные функциональные объекты, такие как объекты гражданской обороны, мосты и т. д.	
Резервуары или другие установки, содержащие бытовую воду или любые другие материалы, используемые для тушения пожара	1,25
Здания и установки, содержащие токсичные или взрывоопасные химикаты.	
Здания, содержащие токсичные или взрывчатые материалы	1,00
Другие средства	

Таблица 7. Коэффициент сопротивления боковой силы

R	Конструктивное строительство
6.0	Промежуточная конструкция рамы. Среднее сопротивление рамки «Момент». В зависимости от деталей арматурной стали – минимальные размеры. Конструкция для сопротивления крутящему моменту и минимальная постановка на охрану. Сопротивление сдвиговых сил, рассчитанное на основе коэффициента уменьшения сопротивления ($\Omega = 1$). Для энергии две секции удерживаются в верхней и нижней частях колонны крутящего момента и рассчитываются с использованием напряжения f_y
5.5	Двойная конструкция стенок сдвига и средние стойки рамы. Рамы имеют не менее 50 % прочности на сдвиг
5.0	Двойная конструкция стенок сдвига и средние стойки и рамы. Рамы имеют не менее 25 % прочности на сдвиг

5.2. Распределение силы сдвига по этажам [7]

$$F_x = \frac{(V_x - Ft)W_x h_x}{\sum W_i h_i};$$

$$F_y = \frac{(V_y - Ft)W_y h_y}{\sum W_i h_i},$$

где $Ft = 0,7tV$, когда $t > 7$, иначе $Ft = 0$.

Значение силы (Ft) не должно превышать ($0,25V$).

5.3. Распределение напольных сил сдвига на стенах [8]

Сдвиговые усилия, возникающие в результате дифракции (без кручения):

$$V'_{xi} = \frac{K_{xi}}{\sum K_{xi}} V_x;$$

$$V'_{yi} = \frac{K_{yi}}{\sum K_{yi}} V_y.$$

Выводы

Таким образом, мы получили эквивалентные горизонтальные силы, влияющие на каждый элемент, которые должны быть учтены при проектировании.

Библиографические ссылки

1. UBC 97 Uniform Building. – URL: <https://www.scribd.com/document/177101093/UBC-97-pdf> (дата обращения: 13.04.2018).
2. Сирийский код для проектирования и реализации железобетонных конструкций. Релиз 2012. – URL: <https://www.kutub.info/library/book/3286> (дата обращения: 13.04.2018).

N. L. Taranukha, Doctor of Economics, Professor
Anas Ibrahim, Master's Degree Student
Kalashnikov Izhevsk State Technical University

SEISMIC ANALYSIS OF BUILDINGS FOR EARTHQUAKE PROTECTION

The article presents how to determine the forces transferred to structural elements in multi-storey buildings of seismic force in accordance with the static method in the US Code.

Keywords: seismic; Richter scale; static analysis; shear force; UBC 97; seismic analysis; shear walls.