

# МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ПО НОРМАМ США

**Автор: Максим МОСКАЛЬЧУК**  
**Научный руководитель: Андрей ВАСИЛАКИ**

Технический Университет Молдовы

***Аннотация:** США не имеют общего одного стандарта расчета сейсмических воздействий для каждого штата и по их стандартам для расчета основная сейсмическая сила прикладывается лишь в нижней части здания или сооружения, а также воздействие нагрузки возрастает по мере увеличения высоты .*

***Ключевые слова:** Определение сейсмических нагрузок, сейсмика по нормам США, сейсмические зоны, амплитуда сейсмических ускорений, дистрибуция вертикальных сил, сейсмический коэффициент  $C_a$  и  $C_v$  .*

Определение сейсмических нагрузок по нормам США, также как и в СНГ, претерпело серьезные изменения, начиная с известного «Калифорнийского кода», в котором методика была близкой к методу определения сейсмических сил СН-8-57.

Развитие сейсмических кодов США связано с новым инженерным опытом, который появлялся после очередного крупного землетрясения прошлого XX-го столетия.

Землетрясение 1906 г. в Сан-Франциско, послужило основанием учитывать при проектировании зданий сейсмические горизонтальные силы, эквивалентные действию нагрузки от ветра, равные  $145 \text{ кг/м}^2$ .

Только после землетрясения 1925 г. в Санта-Барбаре с магнитудой  $M=6,3$  по шкале Рихтера законодательные органы Калифорнии приняли меры для развития сейсмологических исследований. А уже после землетрясений 1933 г. в Лонг Бич Государственный департамент общественных работ для улучшения проектирования школьных зданий принял нормативный код, который устанавливал минимальные требования для учета сопротивления всех зданий действию поперечных сил, а именно: 2% от величины постоянных нагрузок. Формат этого первоначального кода был таков, что здание считалось достаточно «прочным», если оно способно сопротивляться горизонтальным поперечным силам в основании сооружения — «V». Величина этой силы устанавливалась от веса здания «W», и для школьных кирпичных зданий она принималась 10%. Эта доля от веса здания названа «коэффициентом горизонтальной силы в основании сооружения» «C». В США в период с 1943 по 1953 гг. этот коэффициент был модифицирован несколько раз, основываясь на учете периода собственных колебаний и/или высоты здания. Сегодня этот коэффициент в США представлен в следующем виде:

$$V=C * W.$$

Американское Общество гражданских инженеров и строительная Ассоциация Северной Калифорнии в 1948 г. сформировали Комитет, который рекомендовал применение «концепции статически эквивалентных сил» для г. Сан-Франциско, а после расширила название сейсмического кода словом «uniform» [единый] и распространила его на все регионы США.

Землетрясение 1989 г. в Лома Приета наблюдалось с магнитудой 7,1, вызвано активностью разлома Сан Андреас и унесло 62 человеческих жизни. Большинство разрушений, по мнению М.Р. Линденберга, связано с резонансными явлениями грунта и зданий на значительном удалении от эпицентра.

С 1960 г. основные положения «Голубой книги» были включены в Uniform Building Code (UBC), которые учитывали наиболее новые результаты сейсмологических инженерных исследований по проблемам землетрясений.

Следует подчеркнуть, что на его формирование в современном виде оказывали влияние другие документы, в том числе: Совета по прикладным технологиям, Совет по сейсмической безопасности зданий, Институт американских национальных стандартов, Американский институт бетона, Американский институт стальных конструкций. Версия последнего документа 2001г. и

содержит технические спецификации проектной нагрузки и сопротивляемости для конструкций стальных зданий.

Наиболее полные данные по оценке сейсмических нагрузок содержатся в UBC—94 и более поздней версии: UBC—97. Как уже было сказано, этот документ основывался на обобщении многих предложений как неофициальных, так и официальных документов.

Спектральные коэффициенты динамичности (нормализованные спектры) были построены на основе обработки акселерограмм землетрясений для различных сейсмических. Нормировка кривых на рис. 1 осуществлялась путем приведения зарегистрированных ускорений к так называемым «эффективным пиковым ускорениям грунта». Выбор спектра включал обработку акселерограмм как близких, так и дальних землетрясений. В нем учтены влияния различных грунтовых условий на площадке строительства.

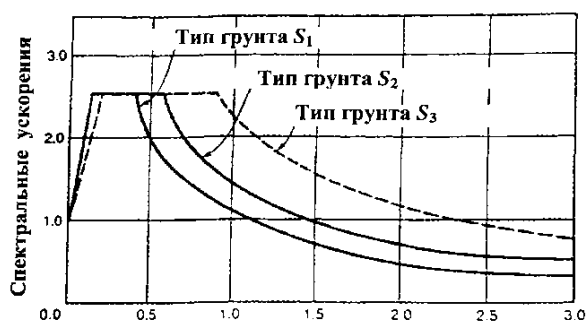


Рисунок 1. Нормализованные спектры реакции для грунтов различного типа:  $S_1$  — скальные и жесткие грунты;  $S_2$  — глубоко несвязные и жесткие глинистые грунты;  $S_3$  — от мягких до средней плотности глины и пески.

В отличие от концепции «балльности», т.е. оценки интенсивности сейсмических воздействий в баллах сейсмической шкалы, вся территория США разделена на пять сейсмических зон (зоны 1, 2A, 2B, 3, 4). Каждой зоне соответствует нормированная амплитуда сейсмических ускорений в пределах: от 0,075g — для зоны «0», до 0,4 для зоны «4». Каждой из упомянутых зон соответствует определенная магнитуда землетрясения.

Нормированный проектный спектр ускорений UBC—1997 показан на рис. 2.

На этом графике отмечены следующие обозначения:

$C_a$  — сейсмический коэффициент, который зависит от коэффициента сейсмичности зоны  $Z$  (Seismic zone factor,  $Z$ ) и типа геологических разрезов грунта  $S_A, S_B, S_C, S_D, S_E, S_F$ . Сейсмический коэффициент  $C_a$  установлен таблицей 16—Q UBC—1997 (см. табл. 1).

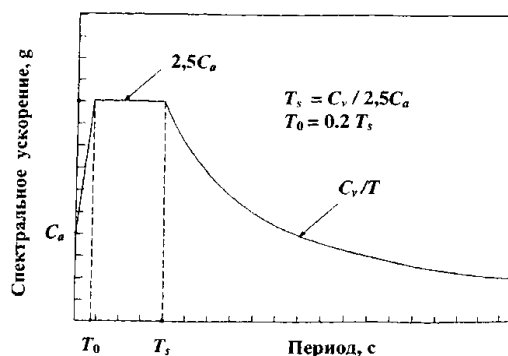


Рисунок 2. Нормированный проектный спектр ускорений UBC-1997.

Таблица 1. Значения сейсмического коэффициента  $C_a$  в нормах США UBC—1997

Тип геологического разреза грунта	Коэффициент сейсмичности зоны, $Z$				
	$Z = 0,075$	$Z = 0,15$	$Z = 0,2$	$Z = 0,3$	$Z = 0,4$
$S_A$	0,06	0,12	0,16	0,24	0,32Na
$S_B$	0,08	0,15	0,20	0,30	0,40 Na
$S_C$	0,09	0,18	0,24	0,33	0,40Na
$S_D$	0,12	0,22	0,28	0,36	0,44Na
$S_E$	0,19	0,30	0,34	0,36	0,36Na
$S_F$	Определяется на основании геотехнических исследований площадки и анализа динамической реакции грунта				

Сейсмический коэффициент  $C_v$  назначается также в зависимости от типа геологического разреза на площадке строительства и коэффициента сейсмичности зоны  $Z$  (см. табл. 2) — табл.16R UBS — 1997.

Коэффициенты  $N_A$  и  $N_V$  называются коэффициентами близости к источнику [Near-Source factor]. Они определены в таблицах 16—S и 16—T UBC — 1997 и представлены в табл. 3 и 4. А зависят от расстояний до самого близкого сейсмического источника и типа сейсмического источника.

Таблица 2. Значения сейсмического коэффициента  $C_v$  в нормах США UBC— 1997

Тип геологического разреза грунта	Коэффициент сейсмичности зоны, $Z$				
	$Z=0,075$	$Z=0,15$	$Z=0,2$	$Z=0,3$	$Z=0,4$
$S_A$	0,06	0,12	0,16	0,24	$0,32 N_v$
$S_B$	0,08	0,15	0,20	0,30	$0,40 N_v$
$S_C$	0,13	0,25	0,32	0,45	$0,56 N_v$
$S_D$	0,18	0,32	0,40	0,54	$0,64 N_v$
$S_E$	0,26	0,50	0,64	0,84	$0,96 N_v$
$S_F$	Коэффициенты $S_F$ устанавливаются на основании геотехнических исследований на площадке и анализа динамической реакции грунта				

Таблица 3. Коэффициенты близости к источнику,  $N_A$

Тип сейсмического источника	Самое близкое расстояние до известного сейсмического источника		
	<2км	5 км	>10км
A	1,5	1,2	1,0
B	1,3	1,0	1,0
C	1,0	1,0	1,0

Расположение и тип сейсмического источника, который будет использоваться для проектирования, должен быть согласован с регулирующим органом или Калифорнийским отделом горных работ и геологии. Самое близкое расстояние до сейсмического источника принимается как минимальное расстояние между площадкой и областью, описанной как вертикальная проекция источника на поверхность (например, поверхность проекции плана разлома).

Таблица 4. Коэффициенты близости к источнику,  $N_V$

Тип сейсмического источника	Самое близкое расстояние до известного сейсмического источника			
	<2 км	5 км	10 км	>15 км
A	2,0	1,6	1,2	1,0
B	1,6	1,2	1,0	1,0
C	1,0	1,0	1,0	1,0

К источнику типа А относят активные разломы, которые возбуждают большие магнитуды. Для Калифорнии к таким разломам относят разлом Сан Андреас, к типу В — большинство разломов, к типу С — неактивные разломы, находящиеся за пределами площадки.

Тип сейсмического источника в UBC выбирается в зависимости от характеристики разломов, величины момента магнитуды,  $M$  и скорости скольжения разлома, мм/год..

Нормы рекомендуют при выборе сейсмического источника оценить зоны субдукции сейсмического движения плит, а также принимать во внимание, что сейсмический момент и скольжение плит действует одновременно.

К грунтам типа  $S_F$  нормы относят грунты, чувствительные к потенциальным разрушениям или обрушениям при сейсмических воздействиях, такие как разжижающиеся грунты, текучие и высокочувствительные глины, подверженные разрушению слабо цементированные грунты, очень пластичные глины с индексом пластичности  $PI > 75$  при глубине слоя до 25 футов (7,62 м), а также другие — от мягких до средней плотности — глины до 120 футов (36,576 м).

Грунты типа  $S_E$  включают также профиль глубиной более, чем 10 feet (3,048 м) мягких глин с индексом пластичности  $PI > 20$ ,  $Wmc > 40\%$  и  $Su < 500$  psf (24 кПа).

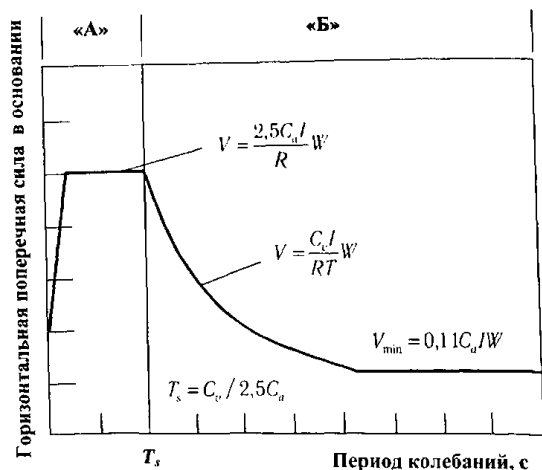


Рисунок 3. Проектный спектр реакции для определения сейсмических нагрузок по нормам США UBC — 1997: «горизонтальная поперечная сила в основании — периоды колебаний сооружения»; «А» — зона короткопериодных колебаний (контроль ускорений); «Б» — зона длиннопериодных колебаний (контроль скоростей).

Горизонтальная поперечная сила в основании сооружения определяется из графика проектного спектра реакции, показанного на рис. 3.

Коэффициент «I», входящий в формулу для определения горизонтальной силы в основании, называется «сейсмическим коэффициентом важности»

и назначается в зависимости от категории заселенности территории, а также необходимости сохранить важное оборудование для последующих работ после землетрясения. Имеется несколько уровней обеспечения безопасности, для которых принимаются различные коэффициенты важности:

— сооружения особо ответственные и опасные: для этих сооружений принимается  $I = 1,25$ ;

— все другие специальные, стандартные и разнообразные сооружения рассчитываются с коэффициентом важности  $I = 1,00$ .

В практике проектирования по американским нормам обычно используются приближенные эмпирические формулы для определения периода основного тона собственных колебаний зданий

$$T = C_t (h_n)^{3/4}$$

где  $C_t = 0,035$  — для стальных рам;  $C_t = 0,030$  — для железобетонных рам;  $C_t = 0,020$  — для всех остальных зданий;  $h_n$  — действительная высота (в футах) здания.

Другой метод определения периода  $T$  основан на оценках деформационных характеристик сопротивления элементов и более тщательного математического анализа.

Общую величину поперечных сил для максимального участка кривой в интервале периодов от  $T_0$  до  $T_s$  в заданном направлении рекомендуется определять по формуле

$$V = \frac{2,5C_a I}{R} \cdot W,$$

где  $W$  — общий вес сооружения (величина постоянной нагрузки).

Величина  $R$  в (6.23) является численным коэффициентом, характеризующим свойство системы сопротивляться проявлению пластических (неупругих) деформаций. Он определяется в таблице 16—N UBC—1997.

Итак, подводя всему выше сказанному можно сделать следующий итог: США не имеют общего одного стандарта расчета сейсмических воздействий для каждого штата и разбиты на области, где применяется тот или иной код расчета; вся территория США разделена на пять сейсмических зон, каждой из которой соответствует нормированная амплитуда сейсмических ускорений в пределах от  $0,075g$  до  $0,4g$ ; основная сейсмическая сила прикладывается лишь в нижней части здания или сооружения и воздействие нагрузки возрастает по мере увеличения высоты (сравнимо с распределением ветровой нагрузки)

## Библиография

1. Презентация Building Codes – 1997 UBC to 2000/2003 IBC, S. K. Ghosh, Palatine, IL
2. <http://ru.scribd.com/doc/7129646/Uniform-Building-Code-Volume-21997>
3. <http://www.nysl.nysed.gov/reference/building/>