

УДК 699.841

## СЕЙСМИЧЕСКИЙ СРЕЗ ЗДАНИЙ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

С.Б. Смирнов, Б.С. Ордобаев, Ш.С. Абдыкеева

Приводятся факты регулярного разрушения «сейсмостойких» зданий и сооружений при неопасных для них сейсмических нагрузках.

*Ключевые слова:* сейсмический; срез; сдвиг; разрушения; колебания; воздействия; напряжение.

---

## SEISMIC SHEAR OF BUILDINGS UNDER SEISMIC LOAD

S.B. Smirnov, B.S. Ordobaev, Sh.S. Abdykeeva

The article presents the facts of regular shear of "earthquake-proof" buildings and structures under the influence of seismic loads not dangerous for them.

*Key words:* seismic; shear; shift; fracture; vibration; influence; tension.

Среди наиболее опасных для всего человечества природных катастроф сильные землетрясения занимают особое место. Действительно, сильные землетрясения, способные вызвать обширные разрушения случаются на планете примерно раз в две недели. Каждое сильное землетрясение в густонаселенной местности является катастрофой.

Сейсмостойкость зданий и сооружений – способность противостоять сейсмическим воздействиям. Требуемая сейсмостойкость зависит от расчета сейсмичности объектов строительства, устанавливаемой в зависимости от назначения здания и сооружения.

Мы не раз приводили доказательства того, что слабые низкочастотные колебания грунта, которые официально считаются причиной всех сейсмических разрушений, не могут, в принципе, вызвать те крайне необычные формы среза железобетонных колонн и стен, которые всегда возникают при землетрясениях [1–4]. Их могут вызвать лишь сейсмические импульсы [5–7], которые нельзя отобразить теми инерционными сейсмическими приборами, коими до сих пор пользуются сейсмологи [8; 9]. Официальная сейсмическая наука считает бесспорным неизбежность затухания разрушительных сейсмических импульсов по пути от центров землетрясений к удаленным от них зданиям. Однако она почему-то всегда упускает из вида то крайне важное обстоятельство, что слабые низкочастотные колебания и подавно должны затухнуть, про-

бегая большой путь по пористой и выражено неупругой грунтовой среде.

Дело в том, что каждая очередная волна, несущая импульсное сжатие, обжимает грунт на своем пути (вплоть до ее остановки), съедая волны сжатия, несущие импульсы. Напротив, волны, несущие низкочастотные колебания, создают знакопеременные напряжения и потому они не способны оставлять за собой уплотненный и упругий след в грунте, т. е. каждая такая последующая волна будет тратить на уплотнение грунта столько же энергии, как и все предыдущие и также быстро затухнет.

Кроме того, согласно диаграмме сжатия “ $\sigma$ - $\epsilon$ ” для грунтов (в виде параболы), доля неупругих деформаций по уплотнению грунта при прохождении слабых сейсмических сигналов даже при однократном нагружении не ниже чем для импульсных сигналов [8; 10], даже при однократном нагружении грунта. По нашему убеждению, любые сейсмические сигналы не могут прийти к зданиям напрямую от центра землетрясения, если длина их траектории по неплотным поверхностным грунтам превышает 10 км.

В этих пористых грунтах скорости волн весьма малы (часто существенно ниже, чем 200 м/сек). Например, скорость волны сжатия в пылеватом грунте бывает ниже 10 м/сек. Поэтому сейсмические сигналы на этом пути либо быстро затухнут, либо придут совсем ослабленными и с большим запозданием. Имеется другой, гораздо менее энер-

гозатратный и гораздо более быстрый и потому реальный путь для сейсмических сигналов от центров землетрясений к подошвам зданий.

Речь идет о том, что продольные волны сжатия с большой скоростью и почти без потерь пробегают под зданиями по нижним упругим слоям грунта на больших глубинах  $H > 50$  м. При этом они порождают вторичные волны сдвига, бегущие вверх к подошвам зданий и действующие на них.

Скорости движения волн в нижних слоях на порядок выше, чем в верхних [11]. В результате они сдвигают свои слои относительно верхних слоев и этим вызывают перекося и сдвиг всей поверхностной толщии грунта глубиной  $H$  порядка 100–150 м. Этот сдвиг формируется при пробегании снизу-вверх вторичных волн сдвига.

При этом в сдвигаемой толще накапливается огромная потенциальная энергия. Периодически распрямляясь, толща скачком переводит ее в кинетическую энергию и наносит мягкие боковые удары по фундаментам зданий. Именно эти удары срезают колонны и стены зданий при землетрясениях. В грунте по мере роста его глубины  $H$ , с ростом вертикального давления  $p = \rho_n$  и бокового давления  $0,2p$ , интенсивно растут его модули  $E$  и  $G$  (пропорционально  $H^2$ ) и медленно растет плотность грунта  $\rho$ . В результате скорости продольных волн

$$C = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

и волн сдвига

$$\tilde{C} = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

растут почти линейно с ростом  $H$ . Ширина фронта для вторичных волн сдвига почти постоянна при их пробеге к поверхности грунта. Поэтому, согласно условиям равновесия, мы имеем следующее соотношение для касательных напряжений  $\tau$  этих волнах:

$$\tau = \rho_n V_n \tilde{C}_n = \rho_g V_g \tilde{C}_g = \text{const}, \quad (1)$$

где  $V_n$  и  $V_g$  – скорости грунта в нижних и верхних слоях грунта соответственно.  $\tilde{C}_n$  и  $\tilde{C}_g$  – скорости волн сдвига в тех же слоях.

Учитывая, что скорость  $V_B$  удваивается при отражении волны сдвига от поверхности грунта, из (1) получим следующую ключевую формулу для скорости грунта возле поверхности:

$$V_g = 2V_n * \frac{\rho_n}{\rho_g} C_n / C_g. \quad (2)$$

В грунтах соотношение  $C_n/C_g$  может быть близким к десяти, а  $\rho_n/\rho_g$  близко к двум [11], т. е. скорость грунта на поверхности  $V_B$  может быть в 40

раз выше, чем скорость грунта  $V_H$  в нижних слоях. Именно с этой большой скоростью  $V_B$  грунт наносит фронтальные удары по вертикальным торцам фундаментов и сдвиговые удары по их подошвам.

Волны сдвига в свою очередь порождают вторичные волны сжатия, которые догоняют волны сдвига, возникающие впереди, и накладываются на них. Они создают существенное горизонтальное сжатие, которое уплотняет грунт и приближает процесс сдвига к упругому даже в самых верхних слоях. Этому также способствует большая скорость нагружения грунта и его кратковременность. Чтобы показать реальность сейсмического среза железобетонных колонн сдвиговыми импульсами, нам необходимо задаться конкретными параметрами грунта.

Согласно данным [11], а также по данным Международной ассоциации тоннелестроителей, для глин разной плотности имеем:

- на глубине  $H = 1$  м:  $\rho = 1,4$  т/м<sup>3</sup>;  $C_B = 260$  м/с;
- на глубине  $H = 60$  м:  $\rho = 2,8$  т/м<sup>3</sup>;  $C_H = 1870$  м/с.

Не имея данных о скоростях волн в более глубоких слоях, условно ограничиваем размер сдвигаемой толщи величиной  $H = 60$  м, но при этом считаем, что сдвиг толщии происходит квазиупруго. Эти два допущения взаимно компенсируют вносимую ими погрешность и потому не могут принципиально исказить суть описываемого процесса.

Итак, даже без учета неизбежного затухания верхней волны, нижняя волна обгонит ее за одну секунду на 1610 м. Порожденная ею волна сдвига убегает до поверхности грунта, отразившись от нее, удваивает скорость  $V_H$  и бежит обратно, снимая сдвиг с поверхностной толщии. Этим она вызывает отдачу со стороны толщии. Свой двойной пробег волна сдвига, бегущая со средней скоростью, совершает за время  $T = 2H/\tilde{C}$ . При  $\tilde{C}_{cp} = 700$  м/с имеем  $T = 0,17$  с, то есть удары по фундаментам в нашем примере будут приходиться с периодичностью  $T = 0,17$  с.

По формуле (2) найдем, во сколько раз возрастает скорость грунта на поверхности  $V_B$  по сравнению с породившей ее скоростью грунта в нижнем слое  $V_H$ .

При наших данных  $\tilde{C}_B = 116$  м/с;  $C_H = 836$  м/с;  $\rho_B = 1,4$  т/м<sup>3</sup>;  $\rho_n = 2,8$  т/м<sup>3</sup> мы согласно (2) находим, что  $V_B = 28,4V_H$ . Именно с такой большой скоростью грунта волны сдвига и вторичные волны сжатия наносят горизонтальные удары по фундаментам.

Нам надо определить, какая скорость бетона на  $V_B$  при этом возникает в фундаментной плите. В [1] были получены общие формулы для скорости  $V_B$  при переходе из грунтовой среды волн, несущих скорость грунта  $V_B$  в бетонную среду. Мы получи-

ли следующую приближенную формулу для нашего случая:

$$V_B = V_B * 6 \left( \frac{C_B}{C_B \rho_B + C_B \rho_B} + \frac{\tilde{C}_B}{C_B \rho_B + C_B \rho_B} \right). \quad (3)$$

При реальных параметрах для грунта и железобетона  $C_B = 260$  м/с;  $\tilde{C}_B = 116$  м/с;  $C_B = 4920$  м/с;  $\tilde{C}_B = 2200$  м/с;  $\rho_B = 2,5$  т/м<sup>3</sup>;  $\rho_B = 1,4$  т/м<sup>3</sup> согласно (3) получим, что  $V_B = 0,375 V_B$ .

Учитывая, что  $V_B = 28,4 V_H$ , получим:  $V_B = 10,6 V_H$ . Задавшись достаточно малой скоростью грунта  $V_H$  в нижних слоях  $V_H = 0,1$  м/с получим, что  $V_B = 1,06$  м/с.

Фундаментная плита, где скачком возникла скорость  $V_B = 1,06$  м/с, создаст в железобетонных колоннах первого этажа волну сдвига. Она бежит по ним со скоростью

$$\tilde{C}_B = \sqrt{\frac{G_B}{\rho_B}} = 2200 \text{ м/с}$$

и создает напряжение сдвига  $\tau$ , а также главные растягивающие напряжения  $\sigma_{\text{гн}}^+$ , действующие по косым главным площадкам. При этом

$$\tau = G_B \cdot V_B \cdot (\tilde{C}_B)^{-1} = \sigma_{\text{гн}}^+ = 12 \cdot 10^4 \text{ кг/см}^2 \cdot 1,06 \text{ м/с} \cdot (2200 \text{ м/с})^{-1} = 58 \text{ кг/см}^2.$$

Волна сдвига многократно отражается от жестких дисков перекрытия и фундаментной плиты. При этом ее напряжения существенно возрастают. Однако, очевидно, что и первичного напряжения  $\sigma_{\text{гн}}^+ = 58$  кг/см<sup>2</sup> вполне достаточно для разрыва колонны и ее среза по наклонному сечению, что в 6 раз выше статистической прочности бетона на растяжение  $R_{st} = 10$  кг/см<sup>2</sup>.

Выясним, как быстро произойдет этот срез.

Согласно [12], при  $\sigma_{\text{гн}}^+ > R_{st}$  ключевым прочностным параметром становится уже непрочность  $R_{st}$ , а скорость разрушения бетона  $V_p$ , которая равна скорости развития трещины вдоль растянутого наклонного сечения, где действует  $\sigma_{\text{гн}}^+$ . При  $\sigma_{\text{гн}}^+ > 5R_{st}$  скорость разрушения определяется приближенной формулой:

$$V_p = 20 \cdot 1,06 \text{ м/с} = 21,2 \text{ м/с}.$$

При толщине колонны  $h = b = 0,4$  м и длине косяго сечения  $0,6$  м, колонна будет срезана за  $0,03$  с.

Сдвиговая деформация колонны неустойчива и стремится перейти в деформацию изгиба. Поэтому вслед за волной сдвига с меньшей скоростью по колонне бежит волна изгиба. Она ограничивает рост сдвига при многократных отражениях волны сдвига от ригелей и плит, защемляющих колонны. Однако нарастающие деформации изгиба не успевают создать изломы колонн возле их заделок за малое время среза колонн  $t = 0,03$  с.

Описанный выше эффект от сдвига и отдачи верхней толщи по смыслу базовой формулы

(2) должен быть максимален для рыхлых грунтов и минимален для скальных оснований зданий. Практика это полностью подтверждает.

Действительно, в зданиях, стоящих на рыхлых и пылеватых грунтах, сейсмические разрушения минимальны (на базе официальной сейсмической теории нельзя объяснить этот эффект).

Что же касается среза железобетонных колонн, то его можно исключить, заменив их на стальные, но не имеющие сварных соединений или взять их в стальные обоймы.

Как же можно защититься от этих сдвиговых импульсов? Для защиты надо исключить горизонтальные удары грунта по фундаментам.

Для этого здание следует поставить на мощную фундаментную плиту, лежащую поверх грунта на сваях, которые препятствуют ее вдавлению в грунт. При этом здание еще должно быть устойчивым к опрокидыванию за счет ограниченной высоты и достаточно большой ширины и длины [3; 5; 9; 13–15].

#### Литература

1. Смирнов С.Б. Ударно-волновая концепция сейсмического разрушения сооружений / С.Б. Смирнов // Бетон и железобетон. 1992. № 11. С. 28–31.
2. Smirnov S. Discordances between seismic destruction and present calculation / S. Smirnov // International civil Defense Journal. 1994. № 1. P. 6–7, 28–29, 46–47.
3. Смирнов С.Б. Исследование аномальных форм в сейсмических разрушениях зданий, противоречащих официальной теории сейсмозащиты и опровергающих официальный взгляд на причины разрушения зданий при землетрясениях / С.Б. Смирнов // Объединенный научный журнал, М., 2008. № 9. С. 51–63.
4. Смирнов С.Б. О принципиальной ошибке в традиционной трактовке записей инерционных сейсмических приборов / С.Б. Смирнов // Жилищное строительство. 1995. № 1. С. 23–25.
5. Рыков Г.В. Прикладные методы динамики сооружений / Г.В. Рыков // Труды МИСИ им. Куйбышева. М., 1992. С. 103.
6. «Soils and Foundations», Special issue of Geotechnical aspect of the January 17, 1995 Hyogo-Ken Nanbu Earthquake, Japanese Geotechnical Society, January 1996. P. 359.
7. Смирнов С.Б. Обоснование причин разрушения «сейсмостойких» зданий и эффективные меры их сейсмозащиты / С.Б. Смирнов // Энергетическое строительство. 1994. № 4. С. 68–71.
8. Смирнов С.Б. О причинах провала официальной стратегии сейсмозащиты / С.Б. Смирнов // Объединенный научный журнал. М., 2008. № 9. С. 51–63.
9. Смирнов С.Б. О расчете защитных железобетонных оболочек АЭС на непробиваемость при

- ударе «мягкого протяженного объекта» / С.Б. Смирнов // Энергетическое строительство. 1992. № 11. С. 57–59.
10. *Smirnov S.* The main Suspect, Science in Russia / S. Smirnov. 1994. № 5. P. 12–15.
  11. *Smirnov S.* A riddle it's high time to solve / S. Smirnov. Russia. 1997. № 5. P. 34–36.
  12. *Рыков Г.В.* Измерение напряжений в грунтах при кратковременных нагрузках / Г.В. Рыков, А.М. Скобеев. М.: Наука, 1978. С. 246.
  13. *Smirnov S.B.* Seismic failures-new point of view / S.B. Smirnov, M.J. Zimin // The Ontario Technologist. 2009. Vol. 51. № 4. P. 12–13
  14. *Смирнов С.Б.* Сейсмические разрушения – альтернативный взгляд: сборник научных трудов. Часть I / С.Б. Смирнов, Б.С. Ордобаев, Б.Р. Айдаралиев. Бишкек: Айт, 2012. 138 с.
  15. *Смирнов С.Б.* Сейсмические разрушения – альтернативный взгляд: сборник научных трудов. Часть II / С.Б. Смирнов, Б.С. Ордобаев, Б.Р. Айдаралиев. Бишкек: Айт, 2013, 144 с.