

УДК 624 (575.2) (04)

## СЕЙСМИЧЕСКИЙ СРЕЗ ЗДАНИЙ – РЕЗУЛЬТАТ ОТДАЧИ ТОЛЩИ ГРУНТА, СДВИГАЕМОГО ГЛУБИННЫМИ СЕЙСМИЧЕСКИМИ ВОЛНАМИ

*С.Б. Смирнов, Б.С. Ордобаев, К.М. Джаманкулов*

Доказано, что сейсмические волны не могут напрямую дойти от центра землетрясения к зданиям, проходя через неупругую и пористую грунтовую среду, которая быстро поглощает их энергию. В реальности продольные волны пробегают под зданиями на больших глубинах в плотных и квази-упругих грунтах на глубине более чем 50 м.

*Ключевые слова:* землетрясение; деформации; волны; упругость; здание.

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, пробегая 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 её 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 так же быстро затухнет.

Кроме того, согласно диаграмме сжатия “ $\sigma$ - $\epsilon$ ” для грунтов (в виде параболы) [8; 10] 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 одно-

кратном 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 энерго-затратный 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 толщи 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 её 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 глу-

бины  $H$  с ростом вертикального давления  $p = \rho H$  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  $C = \sqrt{E/\rho}$  и волн сдвига  $\bar{C} = \sqrt{G/\rho}$  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  $\tau$  в этих волнах:

$$\tau = \rho_H V_H \bar{C}_H = \rho_B V_B \bar{C}_B = \text{const} \quad (1)$$

где  $V_H$  и  $V_B$  – скорости грунта в нижних и верхних слоях,  $\bar{C}_H$  и  $\bar{C}_B$  – скорости волн сдвига в тех же слоях.

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

$$V_B = 2V_H \cdot \rho_H / \rho_B \cdot C_H / C_B \quad (2)$$

В грунтах соотношение  $C_H/C_B$  может быть близким к десяти, а  $\rho_H/\rho_B$  близко к двум [11]. Т.е. скорость грунта на поверхности  $V_B$  может быть 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 глины разных плотностей 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, мы в нашем расчете существен-

но ограничиваем размер сдвигаемой толщи величиной  $H = 60$  м, но при этом считаем, что сдвиг толщи 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 её за одну секунду на 1610 м. Порожденная ею волна сдвига убежит до поверхности грунта, отразившись от неё, удваивает скорость  $V_H$  и бежит обратно, снимая сдвиг с поверхностной толщи. Этим она вызывает отдачу со стороны толщи. Свой двойной пробег волна сдвига, бегущая со средней скоростью, совершает за время  $T = 2H/\bar{C}$   $T = 2H/\bar{C}_{cp}$ . При  $\bar{C} \bar{C}_{cp} = 700$  м/с имеем  $T = 0,17$  с, т.е. удары по фундаментам в нашем примере будут приходить 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  $\bar{C}_B \bar{C}_H = 116$  м/с;  $\bar{C}_H \bar{C}_H = 836$  м/с;  $\rho_B \rho_B = 1,4$  т/м<sup>3</sup>;  $\rho_H \rho_H = 2,8$  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  $V_B$  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 получили следующую приближенную формулу для нашего случая:

$$VV_B = V_B \cdot 6 \left( \frac{C_B C_B}{C_B \rho_B + C_B \rho_B} + \frac{C_B C_B}{C_B \rho_B + C_B \rho_B} \right) \quad (3)$$

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

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

Фундаментальная плита, где скачком возникла скорость  $V_B = 1,06$  м/с, создаст в ж.б. колоннах 1-го этажа волну сдвига. Она бежит по ним со скоростью  $\bar{C} \bar{C}_B = \sqrt{G_B/\rho_B} \sqrt{G_B/\rho_B} = 2200$  м/с и создает напряжение сдвига  $\tau$ , а также главные растягивающие напряжения  $\sigma_{zt}^+$ , действующие по косым главным площад-

кам. При этом  $\tau = G G_B \cdot VV_B \cdot (\bar{C}\bar{C}_B)^{-1} = \sigma_{zt}^+ \sigma_{zt}^+ = 12 \cdot 10^4 \text{ кг/см}^2 \cdot 1,06 \text{ м/с} \cdot (2200 \text{ м/с})^{-1} = 58 \text{ кг/см}^2$ .

Волна сдвига многократно отражается от жестких дисков перекрытия и фундаментной плиты. При этом ее напряжения существенно возрастут. Однако, очевидно, что и первичного напряжения  $\sigma_{zt}^+ \sigma_{zt}^+ = 58 \text{ кг/см}^2$  вполне достаточно для разрыва колонны и ее среза по наклонному сечению, т.к.  $\sigma_{zt}^+ \sigma_{zt}^+$  в 6 раз выше статистической прочности бетона на растяжение  $R_{st} = 10 \text{ кг/см}^2$ . Выясним, как быстро произойдет этот срез.

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

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

При толщине колонны  $h = b = 0,4 \text{ м}$  и длине косога сечения  $0,6 \text{ м}$  колонна будет срезана за  $0,03 \text{ с}$ .

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, заземляющих колонны. Однако нарастающие деформации изгиба не успевают создать изломы колонн возле их заделок за малое время среза колонн  $t = 0,03 \text{ с}$ .

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 пылевых грунтах, сейсмические разрушения минимальны (на базе официальной сейсмической теории нельзя объяснить этот эффект). Что же касается среза ж.б. 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 вдавливанию 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].

### Литература

1. Смирнов С.Б. Ударно-волновая концепция сейсмического разрушения и сейсмозащиты сооружений // Бетон и железобетон. – 1992. – №11. – С. 28–31.
2. Smirnov Sergey. Discordances between real seismic destruction and present calculation // International Civil Defense Journal. – 1994. – №1. – P. 6–7; 28–29; 46–47.
3. Смирнов С.Б. Обоснование причин разрушения “сейсмостойких” зданий и эффективные меры их сейсмозащиты // Энергетическое строительство. – 1994. – №4. – С. 68–71.
4. Smirnov Sergey. The main Suspect, Science in Russia. – 1994. – №5. – P. 12–15.
5. Smirnov Sergey. A riddle it's high time to solve. Russia. – 1997. – №5. – P. 34–36.
6. Смирнов С.Б. Исследование аномальных форм в сейсмических разрушениях зданиях, противоречащие официальной теории сейсмозащиты и опровергающих официальный взгляд на причины разрушений зданий при землетрясениях // Объединенный научный журнал. – 2008. – №9. – С. 51–63.
7. Смирнов С.Б. О причинах провала официальной стратегии сейсмозащиты // Объединенный научный журнал. – 2008. – №9. – С. 60–63.
8. Рыков Г.В., Скобеев А.М. Измерение напряжений в грунтах при кратковременных нагрузках. – М.: Наука, 1978. – С. 246.
9. Смирнов С.Б. О принципиальной ошибке в традиционной трактовке записей инерционных сейсмических приборов // Жилищное строительство. – 1995. – №1. – С. 23–26.
10. Рыков Г.В. Прикладные методы динамики сооружений // Тр. МИСИ им. Куйбышева. – М., 1992. – С. 103.
11. Soils and Foundations // Special issue of Geotechnical aspects of the January 17, 1995, Hyogoken Nanbu Earthquake, Japanese Geotechnical Society, January 1996. – 359 p.
12. Смирнов С.Б. О расчете защитных железобетонных оболочек АЭС на непробиваемость при ударе “мягкого протяженного объекта” // Энергетическое строительство. – 1992. – №11. – С. 57–59.
13. Smirnov S.B., Zimin M.J. Seismic failures-new point of view // The Ontario Technologist. – 2009. – Vol. 51. – №4. – P. 12–13