

Смирнов С.Б., Тентиев Ж.Т., Ордобаев Б.С., Кожобаев Д.Ш.

**ПОВЕРХНОСТНАЯ ТОЛЩА ГРУНТА – ГЕНЕРАТОР СДВИГОВЫХ КОЛЕБАНИЙ**

УДК: 624.031

*Сформулировано специфическое свойство поверхностей толщи грунта как мощного усилителя разрушительного воздействия сейсмических волн, обусловленное их резким торможением в верхних слоях. Торможение волн приводит к интенсивному ускорению верхней грунтовой массы. Она наносит удары по фундаментам и этим срезает колонны и стены зданий.*

*Волновые импульсные сдвиги толщи, затем вызывают её сдвиговые колебания, параметры которых здесь найдены теоретически.*

*На основе теории и экспериментов доказано, что маятниковые сейсмические приборы не способны точно отображать не только разрушительные сейсмические импульсы, но даже вызванные ими сдвиговые колебания грунта.*

*“Upper soil thickness is the strong intensity of destructive effect of seismic waves and generator of shear soil oscillations”*

*Sergey Smirnov, doctor of technical sciences, professor of Moscow State University of Civil Engineers.*

*This formulated and based the specific property of upper soil thickness to be the intensive acceleration of destroying effect of seismic waves, caused by quick braking of waves in upper layers. This effect produces the intensive acceleration of upper soil mass, which makes shear shocks on foundations and cuts off columns and walls of buildings.*

*Wave impulse displacements of upper thickness then produce it its own shear oscillations. The parameters of these oscillations theoretically are found here.*

*On the base of experiment and theory it is proves that seismic pendulum devices are not able to reflect exactly destructive seismic wave impulse and even seismic soil oscillations, caused by these impulses.*

При землетрясениях на здания сначала воздействует разрушительный волновой процесс, который срезает здания и проявляется в виде резких толчков [4-6]. Волновой импульсный сдвиг верхних слоёв грунта вызывает затем появление их собственных сдвиговых колебаний, которые гораздо менее опасны для зданий.

В обоих этих качественно различных процессах решающую роль играет поверхностная толща грунта.

В данной статье намерены доказать, что поверхностная толща грунта в 100-150м, является мощным усилителем разрушительного воздействия сейсмических волн при их прохождении через нее под достаточно крутым углом к поверхности.

Частный случай этого эффекта применительно ко вторичным волнам сдвига был нами описан ранее в работах [1,2]. Здесь мы впервые намерены

дать развернутую формулировку этого эффекта в самой общей и строгой постановке.

Согласно экспериментальным данным, полученным в [3] сейсмические волны, проходя через поверхностную толщу грунта высотой 100-150 м, имеющую большой градиент модулей деформаций E и G, снижает примерно в 10раз свою фазовую скорость C при прохождении самых верхних наиболее податливых слоев грунта.

В связи с этим мы утверждаем, что при своем торможении, т.е. при снижении скоростей C волны обязательно должны интенсивно наращивать скорость верхних слоев грунта V, величина которой как раз и определяет разрушительную силу волнового воздействия на сооружения.

Эта взаимосвязь между величинами фазовой C и массовой V скоростью должна проявляться при прохождении сейсмической волны через любую квазиупругую среду, интенсивно плавно снижающую свои модули E и G, в направлении движения волны при условии, что площадь F фронта волны постоянна.

В нашем случае F=const вполне реально, если учесть, что высота (H) толщи с большим градиентом модулей E и G составляет 100-150м, т.е. она мала по сравнению полной длиной пробега волны, равной десяткам километров.

Эффект наращивания массовой скорости грунта за счет снижения фазовой скорости волны C чисто математически следует прямо из закона сохранения импульса.

Для продольной волны это выглядит так:

$$F\sigma \cdot t = mV = const \text{ при } m = \rho F C t \quad (1)$$

где m – это масса грунта вовлеченная волной в движение за время t

$\sigma$  - это волновое, сжимающее напряжение

$\rho$  - плотность грунта

t - время действия силы F $\sigma$

Для верхних и нижних слоев толщи закон сохранения импульса (1) имеет вид:

$$F\sigma \cdot t = m_H V_H = m_a V_a = const \quad \text{или} \\ \rho_H F C_H t V_H = \rho_B F C_B t V_B \quad (2)$$

Из (2) находим базовое соотношение между верхней и нижней скоростями грунта в поверхностной толще глубиной H:

$$V_B = V_H \rho_H C_H (\rho_B C_B)^{-1} \quad (3)$$

Ту же формулу (3) можно получить из условия равновесия грунта в зоне действия волны в виде:

$$\sigma = \sigma_H = \sigma_B = const;$$

$$\sigma_H = V_H C_H \rho_H = \sigma_B = V_B C_B \rho_B \quad (4)$$

Если учесть, что скорость в верхнем слое грунта  $V_B$  удваивается при отражении волны от поверхности, то при расчете зданий на импульсное волновое воздействие скорость следует находить по формуле:

$$V_B = 2V_H \rho_H C_H (\rho_B C_B)^{-1} \quad (5)$$

Если учесть, что  $C_H / C_B = 10$ , а  $\rho_H / \rho_B = 2$ , то из (5) следует, что поверхностная толща может увеличить скорость грунта  $V_B$  40раз ( $V_B = 40V_H$ ), при прохождении через нее, которая при этом уменьшает в 10 раз свою фазовую скорость  $C$ .

Именно в этом и состоит усиливающий эффект поверхностной толщи грунта. Он приводит еще и к тому, что самые верхние слои грунта за то же время  $t$  успевают аккумулировать примерно в 20раз больше разрушительной энергии  $U_B$ , чем нижние слои, принявшие энергию  $U_H$ . Если учесть, что полная энергия равна  $U = mV^2$ , то с учетом (2,3) найдем что

$$U_B / U_H = (m_B V_B^2)^{-1}; \quad \frac{U_B}{U_H} = \frac{C_H \rho_H}{C_B \rho_B} \quad (6)$$

Это связано с тем, что сила волновая  $F\sigma$  проходит за время  $t$  в верхних слоях путь  $S_B = V_B t$ , который в 20 раз больше чем её путь  $S_H = V_H t$  в нижних слоях.

Все формулы (1-6) будут справедливы также и для поперечных волн, если в них заменить сжимающие напряжения  $\sigma$  на касательные напряжения  $\tau$ , а фазовую скорость

$$C = \sqrt{E(\rho)^{-1}}$$

заменить на фазовую скорость

$$C = \sqrt{G(\rho)^{-1}}$$

где  $G$  – это модуль сдвига грунта.

Усиливающий эффект поверхностной толщи ослабляется за счет потери энергии волн при неупругих волновых деформациях грунта в ее верхних слоях.

Величина этих потерь пропорциональна длине пути  $S$  проходимого волной в пределах слабо сжатого неупругого верхнего слоя толщиной в 50м.

Если волна движется вдоль нормали к поверхности, то этот путь минимален. В этом

случае потеря энергии минимальна и составляет по нашим оценкам примерно 20%.

В зонах возле границ области разрушения, удаленных от эпицентра на расстояние  $L$ , превышающее более чем в 5раз глубину залегания гипоцентра  $H_r$ ,  $L > 5H_r$ , прямой путь волны от гипоцентра к зданиям по неупругому верхнему слою возрастает более чем в 5раз. Поэтому их разрушительное воздействие почти полностью исчезает.

В результате срез зданий там могут производить только вторичные волны сдвига [1,2], которые пересекают верхний слой почти по нормали к поверхности грунта. Они порождены глубинными продольными волнами, проходящими под зданиями на глубине более 100м [1,2]

Судя по самой массовой форме сейсмических разрушений зданий в виде среза их колонн, простенков и стен [4,6], ведущую роль в этих разрушениях должны играть поперечные волны (т.е. волны сдвига), создающие горизонтальную скорость в грунте, обеспечивающую этот срез.

В средних зонах, где  $H_r < L < 4H_r$  срез зданий производят как продольные так поперечные волны, которые создают значительную горизонтальную составляющую скорость грунта, необходимую для среза

Наконец в дальних зонах где  $L < 4H_r$  сейсмический срез зданий может производить только вторичные волны сдвига [1,2].

В эпицентральных и средних зонах сжимающие грунт продольные волны интенсивно бьют по подошвам зданий и этим существенно усугубляют разрушительный эффект от волн сдвига, создавая дополнительное сжатие в колоннах и стенах. Дело в том, что для прочности бетона комбинация сдвига со сжатием наиболее опасна.

Теперь нам следует объяснить, как разрушительная сдвиговая волна, несущая в себе касательные напряжения  $\tau$  и главные растягивающие напряжения  $\sigma_{\Gamma\Gamma}^+ = \tau$  порядка 0,5МПа [1,2], может проходить сквозь самые верхние  $H < 50$ м слабо сжатые слои грунта, в принципе не способны воспринимать ни растяжение  $\sigma_{\Gamma\Gamma}^+$ , ни сдвиг  $\tau$  (даже при высоких скоростях напряжения).

На большей глубине  $H > 50$ м грунт сжатый вертикальным давлением  $P = \rho H > 1МПа$  и боковым  $0.2P$ , легко воспринимает волновое растяжение величины  $\sigma_{\Gamma\Gamma}^+ < 0,5МПа$ , переключая его статическим сжатием  $P$  от веса грунта.

Кроме того, там грунт может воспринять сдвиг величины  $\tau \leq 0.5 \text{ МПа}$  за счет напряжений трения  $\tau_{тр} = f / \sigma \bar{\rho} > \tau$ , т.к. коэффициент трения  $f$  близок к единице.

Когда волна сдвига входит в самые верхние слабо сжатые слои, где  $H < 50 \text{ м}$ , тогда она резко изменяет поле напряжений в грунтовой среде, приспособляя его к себе.

По этим сжатым полосам волны сдвига уже смогут беспрепятственно проходить, но для этого они должны превратиться в 2-новые волны: продольную и поперечную.

Первая – продольная бежит вдоль полосы со скоростью  $C_1 = \sqrt{E(\rho)^{-1}}$ . Она создает в грунте скорость  $V_1 = 0.71V$  и сжимающие напряжения  $\sigma_1 = \rho V_1 C_1$ , направленные вдоль полосы.

Вторая – это новая волна сдвига, бегущая по полосе со скоростью  $\bar{C}_2 = \sqrt{E(\rho)^{-1}}$  и несущая касательные напряжения  $\tau_2 = \rho V_2 C_2$  и скорость  $V_2 = 0.71V$ , направленные поперек полосы. Здесь напряжение  $\tau_2$  грунт воспринимает за счет напряжений трения  $\tau_{mp} = \frac{f}{\sigma_1^-}$ . При  $f=1$   $\tau_{mp} > \tau_2$ . Растяжение

$$\sigma_2^+ = \tau_2 \text{ погашается сжатием } \frac{0.71}{\sigma_1^-} > \sigma_2^+.$$

В результате плоскости разрыва закрываются и две новые волны бегут по обновленному верхнему грунтовому слою, где отсутствует растяжение и по прежнему создается усиливающий волновой эффект.

Анализ наиболее типичных сдвиговых форм разрушения колонн и стен, проведенный в [4-6], позволяет утверждать, что при землетрясениях происходят 2 качественно разных процесса: волновой и колебательный. Первый процесс внешне проявляется в виде кратких толчков. Он является главной причиной сейсмических разрушений и его не способны зафиксировать маятниковые сейсмические приборы, фиксирующие лишь второй колебательный процесс.

В первом процессе, наиболее опасным для зданий являются волны сдвига вызывающие односторонние сдвиги поверхностной толщи грунта [1,2], которые проявляются как разрушительные импульсы с большими ускорениями и скоростями. Именно волновые сдвиги толщи вызывают затем её собственные затухающие колебания, описанные в [7]. Их частота  $\omega$  находится по формуле  $\omega^2 = r(0.4m)^{-1}$ , где

$r$  – это возвратная реакция толщи при смещении её верха на единицу;  $m$  – её масса у которой центр тяжести расположен на расстоянии  $0.4H$  от низа толщи. Здесь

$$r = FG(H)^{-1}; \quad m = \rho HF \quad (7)$$

где  $G$  – усредненный модуль сдвига;  $F$  – площадь сечения толщи;  $H$  – высота;

$\rho$  – средняя плотность грунта.

С учетом (7) находим что

$$\omega^2 = \frac{1}{0.4H^2} \cdot \frac{G}{\rho} = \frac{C^{-2}}{0.4H^2}$$

$\bar{C}$  – средняя скорость волны сдвига в толще. Окончательно имеем следующую приближенную формулу для частоты  $\omega$  и периода  $T$  сдвиговых колебаний толщи:

$$\omega = \sqrt{2.5} \cdot C \cdot (H)^{-1}; \quad T = \frac{2\pi}{\sqrt{2.5}} \cdot \frac{H}{C};$$

$$\bar{C} = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (8)$$

Величина периода  $T$  найденная для реальных параметров поверхностной толщи  $H=100 \text{ м}$ , и  $\bar{C} = 500 \text{ м/сек}$ ; взятых из (3), составляет  $0.8 \text{ сек}$ .

Сейсмические маятниковые приборы нацелены именно на отображение гармонических колебаний грунта и не способны в принципе фиксировать разрушительные волновые импульсы, среза пики их ускорений.

Любые колебания основания приборов, (будь то грунт или виброплатформа) всегда порождают появление кратковременных локальных волн сдвига, которые проникают внутрь маятниковых приборов и существенно влияют на картину движения их маятников. Этот эффект никак не учитывается [8] при расшифровке стандартных акселерограмм и сейсмограмм.

Отсюда ошибка приводит к существенному занижению реальных ускорений, скоростей и перемещений грунта.

Отсюда следует вывод о том, что за неимением иных приборов, кроме маятниковых мы до сих пор не имеем достоверной информации о параметрах разрушительных сейсмических воздействий. Это объясняет причину неудач официальной антирезонансой стратегии сейсмозащиты зданий.

#### Литература:

1. Смирнов С. Б. «Упругая отдача сдвигаемой толщи грунта как реальная причина сейсмического среза зданий», Объединенный научный журнал, Москва, 2008г., №11, стр.,56-60.
2. Sergey Smirnov “Seismic shears of buildings are the result of output of soil thickness displaced by abyssal

- seismic waves”, The integrated scientific Journal? Moscow? Russia? 2009? № p.pp64-68c.
3. “Soil and Foundations”, Special issue of Geotechnical aspects of the January 17, 1995 Hyogoken Nandu Earthquake, Japanese Gotechnical Sosity, January 1996, 359 p.p.
  4. Смирнов С. Б. «Ударно-волновая концепция сейсмического разрушения сооружений», энергетическое строительство, 1992, №9, стр., 70-72.
  5. Смирнов С. Б. «Исследование аномальных форм в сейсмических разрушениях зданий, противоречащих официальной теории сейсмозащиты и опровергающих официальный взгляд на причины разрушения зданий при землетрясениях». Объединенный научный журнал, 2008, №9, стр.51-59.
  6. Sergey Smirnov “Discordances between seismic destruction and present calculation”? International Civil Defence Journal, 1994, №1, зюзю 6-7; 28-29; 46-47.
  7. Смирнов С. Б. «Сдвиговый механизм сейсмических колебаний грунта и качественно новые эксперименты для получения их реальных параметров, вызывающих волновой срез колонн и стен в зданиях». Объединенный научный журнал, Москва, 2009г, №12, 51-55.
  8. Ray W. Clough, Joseph Penzien. “Dynamics of Structures, New York. 1975. 320 .p.p.
-