

Смирнов С.Б. – д.т.н., проф. МГСУ;  
Ордобаев Б.С. – к.т.н., и.о. проф. КРСУ;  
Садабаева Н.Дж. – КРСУ

## СЕЙСМИЧЕСКИЕ СДВИГОВЫЕ ИМПУЛЬСЫ И ИХ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

### SEISMIC SHIFT PULSES AND THEIR THEORETICAL STUDIES

**Аннотациясы:** берилген макалада толкундардын топурактан чың булчуң менен чыгып келип, турак-жайлардын фундаменттеринде толкун аркылуу узунунан бойлото өтүп, турак-жайлардын жылышын пайда кылуусу айтылган.

**Негизги сөздөр:** жылышкан импульстар, сейсмикалык кесүүлөр, темир-бетондук колонналар, топурактын кыртыштары.

**Аннотация:** причиной появления опасных сдвиговых импульсов под подошвой здания являются обычные продольные сейсмические волны, которые создают интенсивный сдвиг и упругую отдачу поверхностной толщи грунта, благодаря резкому перепаду ее волнопроводимости.

**Ключевые слова:** сдвиговые импульсы, сейсмический срез, железобетонные колонны, толщи грунта.

**Abstract:** the cause of dangerous shift pulses under the sole of the building are a common longitudinal seismic waves, which create intense shear and elastic recoil of the surface strata of the soil, due to rapid changes in its volnoprivodyaschy.

**Keywords:** shear pulses of seismic shear, concrete columns, thickness of the soil.

Ранее в работе [1-3] мы писали о том, что реальная причина самого массового типа сейсмических разрушений зданий в виде среза железобетонных колонн и стен до сих пор не была установлена, так как ее официальная версия противоречит необычной форме этих разрушений.

Напомним, что официальной причиной сейсмических срезов считаются низкочастотные волновые колебания грунта, где его скорость  $V_2$  обычно не превышает  $0,5$  м/сек. Они могут вызвать лишь изломы железобетонных колонн, но никак не их срез, который всегда аномален тем, что не сопровождается изломами. Для подобного среза, нужны гораздо большие скорости грунта.

В работах [4-6] мы выдвигали версию о том, что сдвиговые импульсы, срезающие колонны и стены, возникают непосредственно под зданиями. Здесь мы намерены впервые раскрыть и строго обосновать эту версию.

По мере заглубления грунт существенно меняет свои механические свойства в связи с его уплотнением вертикальным давлением  $P$  и

боковым давлением  $0,2 P$ , растущими вместе с глубиной слоя  $H$ , плотностью  $\rho$  и модулями  $E$  и  $G$ . Интенсивный рост модуля упругости грунта  $E$  по мере углубления приводит к резкому росту скорости продольных волн  $C = \sqrt{E(\rho)^{-1}}$ , бегущих в нижних, более плотна слоях.

По данным, полученным «Международной ассоциацией тоннеле – строителей», а также по данным, взятым из [7], мы имеем для глины разной плотности:

- возле поверхности:  $\rho=1,4$  т/м<sup>3</sup>;  $E=1 \cdot 10^3$  кг/см<sup>2</sup>;  $G=2 \cdot 10^2$  кг/см<sup>2</sup>;  $C=260$  м/сек;
- на глубине  $H=30$  м:  $\rho=2,8$  т/м<sup>3</sup>;  $E=5 \cdot 10^4$  кг/см<sup>2</sup>;  $G=10^4$  кг/см<sup>2</sup>;  $C=1870$  м/сек;
- на глубине  $H=60$  м:  $\rho=2,8$  т/м<sup>3</sup>;  $E=10^5$  кг/см<sup>2</sup>;  $G=2 \cdot 10^4$  кг/см<sup>2</sup>;  $C=1870$  м/сек.

Не имея данных о параметрах грунта в более слоях, мы вынужденно ограничиваем размер сдвигаемой толщи грунта величиной  $H=60$  м и будем условно считать, что при  $H>60$  м параметры  $E$ ,  $G$  и  $\rho$  больше не растут. Очевидно, что с этим ограничением, мы явно ослабляем описываемый эффект.

Итак, за  $1$  сек продольная сейсмическая

волна сжатия, бегущая на глубине **60 м**, обгоняет волну в верхнем слое грунта на **1610 м**. Это нарастающее опережение будет постоянно создавать сдвиг и перекося всей поверхности толщи грунта. Ушедшая далеко вперед нижняя волна постоянно сдвигает свои слои грунта относительно соседних еще неподвижных слоев со скоростью  $V_2^H$  частиц грунта. Тем самым она постоянно порождает волны сдвига, бегущие к поверхности, которые как раз и сдвигают всю эту толщу.

Волны сдвига в свою очередь порождают вторичные продольные волны сдвига, возникающие впереди, и накладываются на них. Они создают существенное горизонтальное сжатие во всей сдвигаемой толще. Это сжатие обеспечивает упругость процесса сдвига даже в самых верхних слоях грунта. Этому способствует также вертикальное сжатие, высокая скорость нагружения и его скорость.

При упругом сдвиге верхней толщи грунта (высотой  $H=60 м$ ) в ней накапливается большая потенциальная энергия, которая при распрямлении и упругой отдаче скачком переходит в кинетическую, которая создает импульсы сдвига. Распрямление и упругая отдача толщи происходят, когда волна сдвига добегаем со скоростью  $C_r$  до свободной поверхности грунта, и отразившись от нее, скачком удваивает скорость грунта. Затем она бежит обратно вниз, снимая сдвиг с поверхностной толщи.

Это двойной пробег волна сдвига, бегущая со средней скоростью  $C_r^{cp}$ , совершает за время  $T=2H \cdot (C_r^{cp})^{-1}$ . При  $C_r^{cp}=700 м/сек$ ;  $T=0,17 сек$ ; то есть перекося и распрямления верхней толщи происходят с периодичностью  $T=0,17 сек$ . Они наносят мягкие боковые и сдвиговые удары по фундаментам зданий со скоростью  $V_2^6$ , существенно возрастающей по сравнению со скоростью  $V_2^H$  в нижних слоях. Эти удары суммируются с ударами от вторичных продольных волн сжатия.

В верхних слоях грунта его модуль сдвига  $G_r$  интенсивно снижается вместе со снижением скорости сдвиговой волны  $G_r = \sqrt{G(\rho)}$ . Это приводит к значительному росту скорости грунта  $V_2^6$  в верхних слоях, так как волновое касательное напряжение  $\tau$  в упругой среде должно оставаться постоянным условию равновесия и закону сохранения энергии.

Из условия  $\tau_r = const = V_r^H p_r^H C_r^H = V_r^B p_r^B C_r^B$ , найдем  $V_r^B$ :

$$V_r^B = V_r^H p_r^H C_r^H \cdot (p_r^B C_r^B)^{-1} = V_r^H \sqrt{G_r^H p_r^H} \cdot (\sqrt{C_r^B p_r^B})^{-1} \quad (1)$$

При наших параметрах:

$$G_r^H = 2 \cdot 10^4 \text{ кз/см}^2; G_r^B = 2 \cdot 10^2 \text{ кз/см}^2; p_r^H = 2,8 \text{ м/м}^3; p_r^B = 1,4 \text{ м/м}^3,$$

найдем из (1), что  $V_r^B = 14,2 V_r^H$ .

После отражения от поверхности грунта волна сдвига удваивает скорость  $V_r^B$  до величины  $28,4 V_r^H$ .

Кроме того, сзади сюда приходит тити вторичная продольная волна сжатия со скоростью  $C_\sigma = \sqrt{E_r^B} \cdot (p_r^B)^{-1}$ , которая несет в себе ту же скорость грунта  $V_r^B = 28,4 V_r^H$ , а также сжатие величины  $\sigma_r = E_r^B V_r^B \cdot (C_\sigma)^{-1}$ .

Нас интересует величина скорости, которую приобретает железобетонная фундаментная плита любого здания от этих  $2^x$  разных квазиударных, воздействий со стороны грунта.

В общем случае эта форма имеет вид:

$$V_B^\sigma = K\sigma \cdot V_r \cdot \sqrt{E_r} p_r \cdot (\sqrt{E_B} p_B + \sqrt{E_r} p_r)^{-1} \quad (2)$$

Если удар по торцу ж.б. плиты наносит продольная вторичная волна сжатия, несущая напряжение  $\sigma_r = E_r V_r \cdot (C_r)^{-1}$  и скорость  $V_r$ , то нижняя оценка коэффициента  $K\sigma^1 = 4$ . Когда вся масса грунта движется с единой скоростью  $V_r$  (созданный отраженной волной сдвига) и в ней  $\sigma_r = 0$ , то при ее ударе по плите нижняя оценка  $K\sigma$  в (2) составит  $K\sigma = K\sigma^2 = 2$ . С учетом суммы  $2^x$  воздействий  $K\sigma = K\sigma + K\sigma^2 = 6$ .

При наших параметрах:

$$E_B = 3 \cdot 10^5 \text{ кз/см}^2; p_B = 2,5 \text{ м/м}^3; E_r = 10^3 \text{ кз/см}^2; p_r = 1,4 \text{ м/м}^3$$

формула (2) примет вид:

$$V_B^\sigma = K\sigma V_r (24)^{-1} = 1/4 V_r \quad (\text{при ударе грунта по торцу плиты}).$$

Кроме того, на нижнюю плоскость опорной плиты действует еще сдвиг от  $2^x$  описанных выше воздействий. При сдвиговом воздействии грунта на массив бетона в (1) получена следующая формула:

$$V_B^\tau = K\tau \cdot V_r \cdot \sqrt{G_r} p_r \cdot (\sqrt{E_B} p_B + \sqrt{E_r} p_r)^{-1} \quad (3)$$

При сдвиговом ударе от продольной волны, несущей скорость  $V_r$ , нижняя оценка  $K\tau$  в (3) равна  $K\tau^1 = 4$ .

При действии волны сдвига на подошву плиты со скоростью  $0,5 V_r$  нижняя оценка:  $K_\tau = K_\tau^2 = 2$ .

$$\text{При } G_B = 12 \cdot 10^4 \text{ кз/см}^2; G_r = 12 \cdot 10^2 \text{ кз/см}^2$$

формула (3) примет вид:

$$V_B^\tau = K_\tau \cdot V_\Gamma \quad (48)^{-1}.$$

Учтя, что  $K_\tau = K_\tau^{-1} + K_\tau^2 = 6$ , получим  $V_B^\tau = 1/8 \cdot V_\Gamma$ .

В результате суммарная скорость железобетонной плиты составит

$$V_B = V_B^{\sigma+} + V_B^\tau = (1/4 \cdot V_\Gamma + 1/8 \cdot V_\Gamma) = 3/8 \cdot V_\Gamma.$$

Пусть на глубине  $H=60$  м скорость грунта в продольной волне сжатия  $V_\Gamma^H=0,1$  м/сек. Тогда наверху в волне сдвига после ее отражения от поверхности  $V_\Gamma^B=28,4$  м/сек и  $V_B=3/8$ ;  $V_\Gamma^B=1,06$  м/сек.

Фундаментная плита, где скачком возникла скорость  $V_B=1,06$  м/сек, создает в железобетонных колоннах 1<sup>го</sup> этажа волну сдвига. Она бежит со скоростью  $C_\tau^B = \sqrt{G_B(\rho)^{-1}} = 2200$  м/сек и создает напряжение сдвига  $\tau$  и главные растягивающие напряжения  $\sigma_{21}^+$ , действующие по косым главным площадкам, при этом:

$$\tau = \sigma_{21}^+ = G_B \cdot V_B (C_\tau^B)^{-1} = 12 \cdot 10^4 \text{ кг/см}^2 \cdot 1,06 \text{ м/сек} (2200 \text{ м/сек})^{-1} = 58 \text{ кг/см}^2.$$

Волна сдвига многократно отражается от жестких дисков перекрытия и фундаментной плиты. При этом ее напряжения могут существенно возрасти. Однако, очевидно, что и первичного напряжения  $\sigma_{21}^+ = 58$  кг/см<sup>2</sup> вполне достаточно для среза колонны по наклонному сечению, так как  $\sigma_{21}^+$  в 6 раз выше статической прочности бетона на растяжения  $R_{Bt} = 10$  кг/см<sup>2</sup>.

Выясним, как быстро произойдет этот срез.

Согласно [8], при  $\sigma_{21}^+ > R_{Bt}$  ключевым прочностным параметром становится уже не прочность  $R_{Bt}$ , а скорость разрушения бетона  $V_\rho$ , которая равна скорости развития трещины вдоль растянутого наклонного сечения, где действует  $\sigma_{21}^+$ . Согласно [8], при:

$$\sigma_{21}^+ > 5R_{Bt}; \quad V_\rho = 20; \quad V_B = 21,2 \text{ м/сек}.$$

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

### Литература:

1. Смирнов С.Б. «Ударно-волновая концепция сейсмического разрушения и сейсмозащиты сооружений», Бетон и железобетон, 1992, №11.
2. Смирнов С.Б. «Критический анализ современной теории и практики сейсмозащиты зданий и принципы их совершенствования», Промышленное и гражданское строительство, 1995, №2.
3. Sergey Smirnov «Discordances between real seismic destruction and present calculation», International Civil Defense Journal, 1994, №1.
4. Смирнов С.Б. «Обоснование причин разрушения «сейсмостойких» зданий и эффективные меры их сейсмозащиты», Энергетическое строительство, 1994, №4.
5. Sergey Smirnov «The Main Suspect»? Science in Russia? 1994, №5.
6. Смирнов С.Б. «Решение проблемы надежной сейсмозащиты зданий и сооружений», Промышленное и гражданское строительство, 1999 г., №10.
7. «Soils and Foundations», Special issue of Geotechnical aspects of the January 17 1995 Hyogoken Nanbu Earthquake, Japanese Geotechnical Society, January 1996, 359 p.
8. Смирнов С.Б., Земскова В.Н. «Прочностной расчет железобетонной оболочки АЭС при ударе самолета», Бетон и железобетон, 1992, №1.
9. Смирнов С.Б., Ордобаев Б.С., Айдаралиев Б.Р. «Сейсмические разрушения – альтернативный взгляд», сборник научных трудов, часть Y., Издательство «Айат», Бишкек-2012, 138с.
10. Смирнов С.Б., Ордобаев Б.С., Айдаралиев Б.Р. «Сейсмические разрушения – альтернативный взгляд», сборник научных трудов, часть YY., Издательство «Айат», Бишкек-2012, 144 с.