

УДК 699.841

О ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ КОНЦЕПЦИИ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ И СЕЙСМОУСТОЙЧИВОСТИ ЗДАНИЙ ПРИ СИЛЬНЕЙШИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ

Б.С. Ордобаев

Рассматриваются новые концепции разрушения зданий и сооружений при землетрясениях. Опровергается колебательная модель землетрясения. Предлагается импульсно-волновая (толчки) модель землетрясения.

Ключевые слова: сейсмостойкость; железобетонные конструкции; сейсмоустойчивость; фундаментальная концепция.

ABOUT THE FUNDAMENTAL CONCEPTS OF SEISMIC RESISTANCE AND SEISMIC STABILITY OF BUILDINGS DURING STRONG EARTHQUAKES

B.S. Ordobaev

It is considered a new concept of destruction of buildings during earthquakes. It is disproved the vibrational model of earthquake. It is proposed PW (tremors) earthquake model.

Key words: earthquake-resistant; reinforced concrete structures; seismic resistance; the fundamental concept

Очевидцы сильных землетрясений почти всегда ощущали и описывали два качественно разных типа сейсмических движений грунта. Во-первых, это были краткие и сильные одноразовые толчки и, во-вторых, это протяженные по времени колебания или вибрации [1]. При этом многие замечали, что разрушения зданий обычно происходят именно сразу после первых толчков, и что возникшие затем вибрации, как правило, менее опасны и могут лишь усугубить первые разрушения, но сами они никак не могут вызвать их появление [1–13].

Вот типичный пример описания землетрясения, происшедшего 26 июля 1963 г. в г. Скопле (Югославия). “Главный толчок носил характер удара и сопровождался сильными вибрациями грунта в течение 8–12 секунд” [1].

Вопреки всем подобным свидетельствам официальная сейсмическая наука изначально решила, что не толчки, а именно сейсмический резонанс является главной и единственной причиной сейсмических разрушений. В СССР эта резонансная модель сейсмических разрушений господствовала вплоть до разрушительного Карпатского землетрясения 1986 г. Поэтому идеологов резонансной модели интересовали только низкочастотные колебания грунта, т. к. лишь они могли ввести здания в резонанс.

В этой ситуации краткие сейсмические толчки (т. е. импульсы) никак не вписывались в их строй-

ную и весьма эффективную стратегию антирезонансной сейсмозащиты. Поэтому неофициально было решено считать сейсмические толчки просто некой разновидностью колебаний, не способной вызвать резонанс в зданиях, и потому не опасной.

Однако в неофициальных дискуссиях его авторы, а также наиболее “продвинутые” его сторонники, всегда оправдывались следующим образом: “Если сейсмические толчки, т. е. импульсы, действительно существуют как самостоятельное воздействие, то мы вправе считать их просто отдельными колебаниями или даже их частью. При этом ясно, что одно отдельное колебание грунта гораздо менее опасно для здания, чем их серия, т. к. оно не может ввести здание в резонанс. Что же касается всплесков и скачков на всех акселерограммах, которые якобы отображают сейсмические импульсы, что мы считаем их просто отдельными, очень сильными колебаниями. В своих расчетах мы (по запасу прочности) заменяем их на целую серию таких же сильных колебаний, что гарантирует безопасность зданий” [1].

Дело в том, что стандартные маятниковые акселерометры действительно могут точно отображать ускорения низкочастотных колебаний грунта с постоянной частотой и амплитудой. Но они абсолютно не способны сделать это же самое для отдельных колебаний и тем более для импульсов по

причине, скрытой в самом принципе работы маятникового акселерометра.

Разъясним суть проблемы. Рабочий орган акселерометра представляет собой массу m , закрепленную на жесткой сильно демпфированной пружине с жесткостью γ . Эта масса начинает колебаться, как только появляются сейсмические колебания грунта $\Delta_r(t)$. Эти колебания $\Delta_r(t) = \Delta_r^\alpha(t) \sin \omega_r t$ имеют частоту ω_r и амплитуду Δ_r^α .

Интересующие нас ускорения колебаний грунта $a_r(t)$ с амплитудой $a_r^\alpha = \Delta_r^\alpha \times \omega_r^2$ также описываются синусоидой вида $a_r(t) = a_r^\alpha \sin \omega_r t = -\Delta_r^\alpha \omega_r^2 \sin \omega_r t$. После очень быстрого затухания собственных высокочастотных колебаний массы m , возникших в момент вступления колебаний грунта, масса в акселерометре начинает просто повторять эти низкочастотные колебания грунта $\Delta_r(t)$, но со своей амплитудой Δ_M^α и с некоторым сдвигом по фазе величиной φ .

При этом амплитуда вынужденных колебаний массы в акселерометре величины Δ_M^α оказываются связанной с искомой амплитудой ускорений грунта a_r^α следующим базисным соотношением, заложенным в основу принципа работы маятникового акселерометра [2]:

$$\alpha_r^\alpha = \Delta_M^\alpha \left[\frac{r}{m} \right] D^{-1} = \Delta_M^\alpha \times \omega_M^2 \times D^{-1}. \quad (1)$$

где $\omega_M = \sqrt{\frac{r}{m}}$ – это частота собственных колебаний массы в акселерометре, которая должна быть много больше частоты ω_r ; D – коэффициент динамичности, зависящий от β и ξ , где $\beta = \omega_r \cdot \omega_M^{-1}$ – это соотношение частот, α^ξ – параметр затухания собственных колебаний m .

При $\beta < 6$ и $\xi = 0,7$ коэффициент D обращается в константу, равную единице и тогда согласно (1) график колебаний массы в акселерометре $\Delta_M(t)$ умноженный на ω_M^2 , дает нам график ускорений для сейсмических колебаний грунта, сдвинутый по фазе на угол φ [2]

Для сейсмического импульса (рисунок 1), вступающего путем скачкообразного появления максимального ускорения $a = a^{\max}$ ситуация качественно изменяется. Здесь полностью исчезает взаимное подобие графиков $a_r(t)$, $\Delta_M(t)$ и $\Delta_r(t)$. Более того, здесь максимуму ускорения грунта a^α отвечают нулевое смещение грунта $\Delta = 0$ (рисунок 1) и нулевое смещение не успевшей сдвинуться массы акселерометра $\Delta_M = 0$. То есть вместо реального ускорения грунта $a = a^{\max}$ мы увидим нуль на акселерограммах.

В результате ошибка, даваемая типовым акселерометром в момент вступления импульса, будет равна бесконечности, и реальные величины его

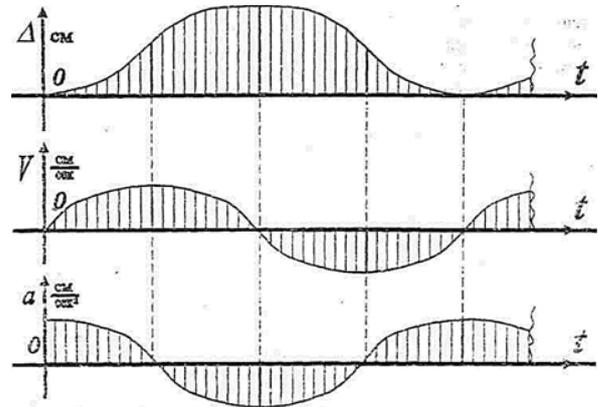


Рисунок 1 – Графики перемещений Δ , скорости V , ускорения a грунта

ускорений остаются абсолютно неизвестными. Ясно лишь то, что они существенно превышают ускорения возбуждаемых ими колебаний грунта (рисунок 1).

Реальное присутствие импульсов формально отражают скачки и всплески на акселерограммах. Но их величина не дает нам никакого представления о величине реальных импульсных ускорений грунта и существенно занижает ее. Эти скачки отображают кратковременные вступления собственных высокочастотных колебаний массы в акселерометре под действием импульсов.

Отметим, что строгая теория маятниковых акселерометров [2] категорически запрещает появление таких колебаний на акселерограммах.

Теперь выясним, какова природа скачкообразного появления больших ускорений в сейсмических импульсах. Ясно, что они могут возникать только лишь в гипоцентрах землетрясений, а к зданиям их приносят сейсмические волны.

При описании механизма землетрясений большинство сейсмологов выдвигают принцип “упругой отдачи”, когда скачком сдвигаются соседние блоки земной коры, которые до этого взаимно смещались, медленно накапливая сдвиговые напряжения вдоль линии их контакта (линии разлома).

Блоки земной коры сжаты между собой гигантским горизонтальным давлением μP (где P – это гравитационное давление от вышележащей толщи, а μ – коэффициент Пуассона). Несмотря на это интенсивное сдавливание блоков, с ростом в вершинах трещин, лежащих в плоскости разлома, возникают пики растягивающих напряжений σ^+ . Как только они превышают прочность межмолекулярных связей, происходит их разрыв, гигантские напряжения σ^+ порядка $0,1E$ скачком исчезают (здесь E – это модуль упругости материала блоков). Такое скачкообразное исчезновение гигантского

растяжения σ^+ эквивалентно нанесению удара по плоскости разлома. Именно в этот момент возникают импульсы со скачком ускорений (рисунок 1). В результате блоки резко сдвигаются на некоторую величину Δ , напряжения τ исчезают, и блоки вновь намертво скрепляются давлением μP .

Итак, “упругая отдача” блоков порождает разрушительные импульсы. Однако сейсмическая наука считает, что из гипоцентра землетрясений к нам приходят вовсе не краткие разрушительные импульсы, а наоборот – длительные низкочастотные колебания, которые якобы именно там и зарождаются. Но для этого в гипоцентре должна возникнуть некая загадочная колеблющаяся масса, которая посылает к зданиям эти экзотические волны колебаний. Однако среди всех известных моделей землетрясения нет ни одной модели, описывающей появление колебаний в толще земной коры. То есть сейсмическая наука, по существу, вообще не смогла объяснить природу тех колебаний, которые она решила считать единственной причиной сейсмического разрушения зданий.

Рассмотрим вкратце, как вообще возникла, развивалась и трансформировалась официальная колебательная модель землетрясений.

При становлении сейсмической науки (в начале 20-го века) ей предстояло решить две задачи: во-первых, определить параметры разрушительных сейсмических движений грунта и, во-вторых, разработать теорию расчета зданий на эти новые для нее воздействия. Уровень сложности этих задач мог оказаться непредсказуемо высоким, и поэтому возникло логичное желание максимально упростить задачу, увидев в землетрясении какое-то знакомое и хорошо изученное воздействие. И оно нашлось в виде низкочастотных колебаний грунта. Определение их параметров и расчет зданий здесь не представляли никаких трудностей. Более того, даже те примитивные маятниковые приборы, которые уже имелись у сейсмологов, позволяли им определять частоту и амплитуду постоянных сейсмических колебаний грунта и их ускорений.

Эту благодатную картину портило лишь явное присутствие серии сильных сейсмических толчков с абсолютно неизвестными параметрами, которые невозможно было определить с помощью маятниковых приборов.

Взяв на вооружение эффектную и прекрасно разработанную теорию резонансного разрушения зданий, ученые удачно для себя распростирали ее на землетрясения и похоронили под ней ненавистные им сейсмические толчки, поскольку они заведомо не могли ввести здания в резонанс.

Между тем сейсмические толчки (т. е. импульсы) регулярно проявляли себя не только в виде

скачков на акселерограммах. Они проявлялись еще в необычных сдвиговых формах разрушений железобетонных колонн, кирпичных простенков и стен зданий, а также в хрупких разрушениях сварных швов и еще во множестве иных форм и фактов сейсмических разрушений, которые в принципе, не могли быть результатом воздействия низкочастотных колебаний [3, 4].

Но в 1986 г. во время 8-бального Карпатского землетрясения безо всякого резонанса, а под действием лишь сейсмических толчков в Кишиневе и других городах и поселках были срезаны железобетонные колонны во многих “антирезонансных” каркасных зданиях, рассчитанных на 9 баллов [5]. Это явилось полной неожиданностью для теоретиков антирезонансной сейсмозащиты. В результате эта теория была сразу похоронена и ее идеологи больше никогда не упомянули о сейсмическом резонансе.

Более того, теперь они старались вообще заменить термин “колебания” на термин “сейсмические воздействия”. Но при этом они по-прежнему применяли лишь примитивные маятниковые приборы, нацеленные только на фиксацию гармонических колебаний с постоянной амплитудой и частотой.

Надо подчеркнуть, что еще нигде не было зафиксировано изгибное разрушение железобетонных колонн, ожидаемое при резонансе. Даже при попытках его искусственного создания здания всегда уходили от резонанса за счет своих неупругих деформаций. Гибкие железобетонные каркасные здания и здания с гибким первым этажом вновь проявили свою повышенную уязвимость в январе 1995 г. в Японии (г. Кобе) [6]. Их железобетонные колонны, так же как и в 1986 г. в Кишиневе, были срезаны сейсмическими импульсами без образования изломов, ожидаемых при сильных колебаниях зданий. Там же был развеян миф о неразрушимости зданий со стальным каркасом, где впервые произошли массовые хрупкие разрушения сварных швов [6]. Этот эффект могли произвести только квазиударные волновые импульсы, но уж никак не колебания грунта и зданий [3, 4]. Но даже катастрофа в г. Кобе, где были срезаны самые современные и сейсмостойкие здания, не смогла похоронить господствующую и ныне колебательную сейсмическую модель, губительную для населения, живущего в сейсмических зонах.

Следует подчеркнуть, что при отсутствии фактов сейсмического резонанса, и при упорном желании замечать опасные сейсмические толчки, нам стала вообще непонятна официальная причина катастрофических сдвиговых разрушений при землетрясениях, т. к. их, в принципе, не способны

производить те колебания, которые регистрируют маятниковые акселерометры.

Чтобы вскрыть механизм появления этих колебаний, мы изучили специфические свойства поверхностной толщи грунта и выявили, что его поверхностные слои имеют чрезвычайно низкую сдвиговую жесткость, т. е. очень высокую сдвиговую податливость по сравнению с ниже лежащими слоями. Величины их модуля сдвига G и модуля жесткости E в среднем примерно на два порядка ниже, чем в глубинных слоях. Это связано с высоким процентом содержания пор. По мере движения вглубь вместе с ростом плотности грунта ρ очень интенсивно нарастают модули E и G за счет снижения объема пор. На глубине H порядка 100 м под воздействием давлением схлопываются почти все поры, и прекращается быстрый рост жесткостных параметров E и G при дальнейшем заглублении.

Покажем насколько высок градиент изменения жесткостных параметров E и G в верхней толще грунта, и соотношение их величин с параметрами в более глубоких слоях. Для этого воспользуемся данными экспериментов по измерению величины скоростей распространения волн в грунтах на разной глубине и связью этой величины с параметрами E и G в виде $E = \rho c^2$, $G = \rho \bar{c}^2$, где c и \bar{c} – это фазовые скорости продольных и поперечных волн в грунтах с плотностью ρ . Результаты измерения скорости c в глинах, данные в [7], таковы:

на глубине $H = 1$ м; $\rho = 1,4$ т/м³; $c = 260$ м/сек;

на глубине $H = 60$ м; $\rho = 2,8$ т/м³; $c = 1870$ м/сек;

То есть в верхних слоях толщи скорость c снижается примерно в 10 раз по сравнению с основанием толщи. Учтя, что плотность ρ снижается вдвое, найдем, что наверху модуль $E = \rho c^2$ снизится в 200 раз. Примерно во столько же раз снижается наверху и модуль сдвига G , а средние значения параметров E и G для толщи в целом примерно в 100 раз меньше, чем для подстилающих ее слоев грунта. То есть сдвиговая жесткость верхней толщи грунта примерно в 100 раз меньше, чем жесткость на сдвиг слоев в ее основании. Поэтому сейсмические импульсы, приходящие из гипоцентра, интенсивно сдвигают именно эту очень податливую верхнюю толщу.

После импульсного сдвига на величину Δ толща начинает совершать собственные возвратные сдвиговые колебания (рисунок 1) с частотой ω , которую можно определить по приближенной формуле $n = \frac{1}{4}(T_k | t_u)^2 \omega^2 = \frac{r}{m} \times k$, [8], где $k = GF(H)^{-1}$ – это возвратная упругая реакция толщи при смещении ее верха на единицу; $m = \rho HF$ – это масса толщи; $k = 0,4$ – это поправочный коэффициент, учитывающий то, что центр тяжести массы толщи

расположен примерно на расстоянии $0,4H$ от низа; G – усредненный модуль сдвига толщи; ρ – средняя плотность ее грунта; F – площадь сечения толщи. С учетом формул для g и m находим, что:

$$\omega^2 = \frac{1}{0,4H^2} \times \frac{G}{\rho} = \frac{c^2}{0,4H};$$

$$\omega = \sqrt{2,5} \frac{\bar{c}}{H}; \bar{c} = \sqrt{\frac{G}{H}}, \quad (2)$$

где \bar{c} – это средняя скорость волны сдвига в поверхностной толще.

Задавшись взятой из [6] величиной $\bar{c} = 500$ м/сек при $H = 100$, находим согласно (2), что частота колебаний глинистой толщи ω равна: $\omega = 7,85$ сек⁻¹ при периоде $T = 0,8$ сек (рисунок 1). Этот результат отвечает примерно середине реального частотного диапазона, обычно даваемого сейсмограммами.

В [8] мы доказывали, что поверхностная толща, состоящая из слабых пористых грунтов, обладает важным свойством резко усиливать разрушительный эффект, создаваемый сейсмическими импульсами. В скальном грунте с постоянным по глубине большим модулем сдвига этот усиливающий эффект отсутствует. Именно это позволяет объяснить более низкую повреждаемость зданий, стоящих на скальном основании.

Итак, в землетрясениях объективно присутствует не одно, а два качественно разных типа движений грунта: волновые квазиударные импульсы (ощущаемые как толчки) и возбуждаемые ими низкочастотные колебания, производимые верхней толщей грунта, сдвинутой импульсами, и ощущаемые как вибрации. При одинаковых смещениях грунта Δ (рисунок 1) ускорения в толчке-импульсах превышают ускорения в колебаниях примерно в n раз, где $n = \frac{1}{4}(T_k | t_u)^2$, T_k – период колебаний; t_u – время действия импульса. В примере на рисунке 1 $n = 16$.

Именно игнорирование сейсмических толчков предопределяет перманентные неудачи в сфере сейсмозащиты. Главным показателем этих неудач является полная неспособность официальных сейсмических норм и кодов обеспечить даваемые ими гарантии сейсмостойкости сооружений, даже при учтенной в них силе землетрясений [9, 10]. Ведь если здание построено в полном соответствии с требованиями норм, то оно должно выдержать землетрясение с расчетным уровнем балльности. Но в реальности этого не происходит и “сейсмостойкие” здания часто разрушаются при “неопасном” для них уровне сейсмического воздействия [5, 6].

Эти факты говорят о том, что официальные сейсмические строительные нормы и коды, основанные на колебательной доктрине, и строящие свои расчеты на базе дефектных акселерограмм, существенно занижают реальные сейсмические напряжения в сооружениях [9, 10].

Для подтверждения этого основополагающего факта мы предлагаем впервые провести качественно новый эксперимент, который позволит, наконец, безоговорочно опровергнуть колебательную модель землетрясений. Мы предлагаем впервые провести прямые, а не косвенные измерения сейсмических напряжений в несущих элементах зданий, и сравнить их с теми официальными напряжениями, которые до сих пор определяются лишь косвенно путем расчетов, проведенных на основе анализа записанных при этом акселерограмм.

Мы утверждаем, что реальные напряжения, создаваемые импульсами, окажутся существенно выше тех, которые будут вычислены на основе записанной здесь же акселерограммы.

Во избежание разночтений в процессе расчета мы предлагаем (в целях его упрощения) использовать в эксперименте простейшую конструкцию в виде короткой ж/б колонны, заземленной в грунте, с грузом на вершине колонны. Разместив ее в зоне с постоянной сейсмической активностью, надо измерить в ней касательные напряжения от первого же сейсмического толчка, и сравнить их с теми же напряжениями, найденными на базе показаний акселерометра, размещенного на колонне. В [11] приведено детальное описание и подробная проработка всех сторон, деталей и этапов этого эксперимента, осуществление которого планируется в Кыргызстане в обозримом будущем.

По нашему убеждению, результаты эксперимента позволят обнаружить многократное расхождение между реальным и официальными напряжениями, а также опровергнуть официальную колебательную модель землетрясений.

После этого надо будет научиться определять параметры сейсмических импульсов с помощью иных качественно новых приборов. Затем необходимо разработать теорию расчета зданий на импульсные волновые воздействия. На этой основе надо будет создать качественно новую эффективную стратегию сейсмозащиты и разработать соответствующие ей нормы и коды по строительству реально сейсмостойких зданий.

Литература

1. Поляков С.В. Последствия землетрясений / С.В. Поляков. М.: Стройиздат, 1978. 331 с.
2. Клаф Р., Пензиен Дж. Динамика сооружений / Р. Клаф, Дж. Пензиен. М.: Стройиздат, 1979. 320 с.
3. Смирнов С.Б. и др. Исследования аномальных форм в сейсмических разрушениях зданий, противоречащих официальной теории сейсмозащиты и опровергающих официальный взгляд на причины разрушения зданий при землетрясениях / С.Б. Смирнов, Р. Клаф, Дж. Пензиен // Объединенный научный журнал. М. 2008. № 9. С. 51–59.
4. Смирнов С.Б. Формы сейсмических разрушений как надежный источник информации о реальном разрушительном волновом сейсмическом воздействии / С.Б. Смирнов // Жилищное строительство. 2012. № 1. С. 39–41.
5. Карпатское землетрясение 1986 г. Кишинев: Штининца, 1990. 334 с.
6. A survey report for building damages to the Hyogo–Ken Nanbu earthquake. Building Research Institute; Ministry of Constuction (Japan), 1996, March. 222 p.
7. Soils and Foundations. Special issue of Geotechnical aspects of the January, 17 1995, Hyogo–Ken Nanbu earthquake. Japanese Geotechnical society. January, 1996. 359 p.
8. Смирнов С.Б. Поверхностная толща грунта как усилитель разрушительного эффекта сейсмических волн и генератор сдвиговых колебаний / С.Б. Смирнов // Жилищное строительство. 2009. № 12. С.33–35.
9. Смирнов С.Б. СНиП II-7-81 “Строительство в сейсмических районах” как документ, опровергающий официальную колебательную доктрину сейсмических разрушений зданий / С.Б. Смирнов // Жилищное строительство. 2010. № 4. С. 9–11.
10. Смирнов С.Б. СНиП II-7-81 “Строительство в сейсмических районах” и новый вариант СНиП 22-03-2009 как дополнительные источники сейсмоопасности и сейсмического риска для граждан Российской Федерации / С.Б. Смирнов // Жилищное строительство. 2010. № 9. С. 49–51.
11. Смирнов С.Б., Ордобаев Б.С., Айдаралиев Б.Р. Сейсмические разрушения – альтернативный взгляд / С.Б. Смирнов, Б.С. Ордобаев, Б.Р. Айдаралиев // Сб. научн. трудов. Ч. 2. Бишкек, 2013. 144 с.