

УДК 699.841-04

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ МОДЕЛИ СЕЙСМИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ ЗДАНИЙ

С.Б. Смирнов, С.В. Романенко, Ю.В. Шефер, Б.К. Орозалиев

Сделан детальный анализ резонансно-колебательной модели сейсмического разрушения сооружений и предложены некоторые меры по сейсмической защите зданий.

Ключевые слова: сейсмический; разрушения; колебания; резонанс; сейсмическая защита; напряжения; сдвиговой; волновые ускорения.

STUDIES OF A VIBRATIONAL MODEL OF SEISMIC DAMAGE TO BUILDINGS

S.B. Smirnov, S.V. Romanenko, Yu. V. Shefer, B.K. Orozaliev

The authors made a detailed analysis of the resonant vibrational pattern of seismic damage to buildings and proposed some measures of seismic protection of buildings.

Key words: seismic; damage; vibrations; resonance; seismic protection; stress; shear; wave acceleration.

Ранее в [1] уже было детально описано противоречие между необычным сдвиговым характером всех сейсмических разрушений, происходящих в колоннах, стенах, простенках, перемычках, и нынешней резонансно-колебательной сейсмической доктриной. Кроме того, была обнаружена высокая вероятность того, что все эти необычные разрушения вызваны неизвестными пока ударно-волновыми воздействиями в грунте.

Последние исследования показали, что и для многих других типов сооружений и объектов сейсмические разрушения имеют столь же необычную форму, которая может возникнуть лишь при очень больших волновых ускорениях грунта (свыше 10^3g). Такие ускорения возможны лишь при квазиударных импульсах. К указанным разрушениям относятся: разрывы проводов ЛЭП; срезание анкерных болтов в трансформаторах ЛЭП; сбрасывание зданий с фундаментов; срезы высоких и низких труб опор мостов и эстакад; отрывы породы или бетона вдоль вертикальных плоскостей горных выработок тоннелей, шахт и иных подземных сооружений; боковое раздавливание подземных трубопроводов; разрывы водопроводов, рельсов и кабелей; гидравлические удары в грунтах; разрушения горных пород; выбрасывание камней из грунта и т. д. [2].

Особо надо отметить часто встречающийся случай специфических локальных разрушений,

когда землетрясение «вырезает» из зданий и сооружений их отдельные участки вертикальными плоскостями, оставляя совершенно нетронутыми соседние части. Эти локальные разрушения не только абсолютно опровергают колебательную и подтверждают ударно-волновую модель сейсмических разрушений, но и говорят о наличии в грунте особо узких «коридоров-волноводов», которые наиболее благоприятны для распространения сейсмических ударных волн. Эти «волноводы» лишь недавно были открыты российскими геологами В.И. Диваковым и А.Н. Русановым. Сам факт их открытия говорит о том, что до этого мы практически не имели достаточной информации о специфике волнопроводимости грунтов [3].

Помимо необычных картин всех сейсмических разрушений, которые не укладываются в официальную сейсмическую доктрину, имеется еще много других факторов и явлений, идущих с ней вразрез. Перечислим здесь лишь несколько самых общеизвестных и весомых фактов:

- полное несоответствие между реальной величиной всех остаточных сейсмических смещений грунта, достигающей иногда нескольких метров, и их приборной величиной, которая всегда равна нулю на сейсмограммах;
- постоянное несоответствие между сейсмограммами и акселерограммами, записанными в одном и том же месте;

- несовпадение сейсмограмм, записанных одинаковыми и установленными рядом сейсмометрами;
- противоречие между ожидаемыми колебательными движениями в грунте, создающими в нем циклические растягивающие напряжения, и полной неспособностью поверхностных грунтов к восприятию растягивающих напряжений;
- противоречие между теоретически неизбежным очень быстрым вязким затуханием сейсмических сигналов в связи с малостью их ускорений ($\ddot{v}_r < 2g$) и реальным отсутствием быстрого затухания этих сигналов;
- противоречие между ожидаемой по расчету теоретически высокой сейсмостойкостью многих специально защищенных зданий и их перманентными разрушениями, происходящими в реальности.

Все эти противоречия и факты полностью ставят под сомнение достоверность той информации о характере и параметрах сейсмических движений грунта, которую дают нам нынешние инерционные сейсмические приборы-маятники. По ряду причин они используются в сейсмике в течение последнего столетия и прочно утвердились в качестве главного и единственного источника информации о сейсмических воздействиях.

В связи с этим возникает необходимость тщательно проверить корректность формулировки и решения той задачи, которая ставится в сейсмометрии при использовании маятниковых приборов.

Начнем эту проверку с анализа уравнения колебаний: сильно демпфированного короткого маятника-акселерометра, которое имеет следующий вид

$$-\ddot{v}_r(t) = v(t) \cdot \omega^2 + 2\dot{v}(t) \cdot \xi_\omega + \ddot{v}(t), \quad (1)$$

где ω – частота собственных колебаний маятника, а ξ – параметр его затухания.

Из уравнения (1) видно, что искомая акселерограмма $\ddot{v}_r(t)$ есть не что иное, как сумма трех графиков: графика колебаний, записанного прибором $v(t)$ и графиков двух его производных $\dot{v}(t)$ и $\ddot{v}(t)$ (при условии, что время действия нагрузки t_1 не слишком мало).

Эта простота и ясность в решении задачи по получению истинной акселерограммы явно противоречит тому множеству трудностей, которые приходится преодолевать сейсмикам при получении «своих» акселерограмм. Однако источник этих трудностей сразу становится очевидным, если заметить, что по традиции сейсмике никогда не строят графики $\dot{v}(t)$ и $\ddot{v}(t)$, так как они используют не строгое уравнение (1), а лишь его усеченный вариант вида

$$-\ddot{v}_r(t) = v(t)x\omega^2, \quad (\text{при } \omega^2 = \text{const}). \quad (2)$$

В (2) считается, что график $v(t)$ одновременно является графиком ускорений грунта $\ddot{v}_r(t)$ в масштабе ω^2 , и поэтому графики $\dot{v}(t)$ и $\ddot{v}(t)$ не нужны.

Для того чтобы доказать правильность базисного соотношения (2) (которое, согласно смыслу и форме уравнения (1), в общем случае заведомо не верно), были предприняты следующие теоретические построения. Сначала была найдена простейшая гармоническая функция $\ddot{v}_r(t) = \ddot{v}_r \sin \theta t$, которая удовлетворяет условию (2) при наложении на нее ряда жестких ограничений. Эти ограничения состоят в следующем:

- время действия ускорений $\ddot{v}_r(t)$ должно быть не менее $2\pi \times \omega^{-1}$ для того, чтобы полностью успели затухнуть собственные колебания прибора, искажающие входной сейсмический сигнал $\ddot{v}_r(t)$;
- должны быть сведены к минимуму искажения сигнала $\ddot{v}_r(t)$ по фазе и амплитуде при его отображении вынужденными колебаниями прибора $v(t)$. Это возможно лишь при условии, что частота собственных колебаний акселерометра ω будет на порядок выше частоты колебаний грунта θ (т. е. при $\omega > 10 \theta$, а коэффициент затухания не превысит 0,5. Лишь в этом случае, согласно [4], коэффициент динамичности прибора $D \approx 1$, а его сдвиг по фазе φ не составит более 6° .

В результате всех этих ограничений искажающее влияние частотной и фазовой характеристик акселерометра будет сведено к минимуму, а также станет приближенно выполняться соотношение (2) для гармонической нагрузки $P_g(t) = -m\ddot{v}_r \sin \theta t$.

Однако ясно, что эта абстрактная нагрузка пока не имеет ничего общего с реальной сейсмической нагрузкой (судя по форме всех записанных во время землетрясения графиков $v(t)$). Поэтому далее сейсмиками был использован следующий логический переход: если разложить любую неизвестную нам сейсмическую нагрузку в ряд Фурье, то она станет суммой бесконечного ряда синусоид, потому автоматически будет удовлетворять условию (2) и [4]. Но этот логический прием содержит в себе три принципиальные ошибки. Во-первых, в нем полностью упускается из виду, что далеко не любая функция $\ddot{v}_r(t)$ удовлетворяет известным условиям теоремы Дирихле и потому нет гарантии, что она сможет быть разложена в ряд Фурье, всюду сходящийся к ней самой. Во-вторых, при этом не учитывается то важнейшее обстоятельство, что при разложении в ряд Фурье функции реальных сейсмических нагрузок, имеющих скачки в себе и в любых своих производных, меняют свои ключе-

вые свойства, так как при разложении по синусоидам и косинусоидам все эти скачки сглаживаются и исчезают. Но ведь именно эти скачки в нагрузке

$$P = -m\ddot{v}_r(t)$$

(4) вызывают все те собственные колебания приборов, искажающих форму нагрузки $P(t)$. Иначе говоря, воображаемое разложение реальной «негладкой» нагрузки $P(t)$ в ряд Фурье дает нам качественно иную «гладкую» нагрузку $P_\phi(t)$. Мнимая операция разложения неизвестной нагрузки создаст лишь иллюзию возможности точного отображения инерционным прибором реальной «негладкой» нагрузки $P(t)$ в виде $P_\phi(t) = -m\omega^2 v(t)$.

Следует иметь в виду, что любая периодическая нагрузка, имеющая скачки у себя или у любой из своих производных, непрерывно подвозбуждает ими собственные колебания прибора. При этом на практике мы имеем вместо установившегося режима постоянный переходный режим, что, как правило, упускается из виду. Судя по сериям всплесков на всех графиках $v(t)$, именно этот случай возникает на практике, и потому реальная сейсмическая нагрузка явно имеет упомянутые скачки.

Если бы нам удалось воздействовать на прибор не реальной нагрузкой, а ее разложением в ряд Фурье, то мы получили бы не реальную, а качественно иную картину колебаний прибора $v_\phi(t)$, где уже не было бы его собственных колебаний. Наконец, в-третьих, даже эту «сглаженную» нагрузку, которая представлена суммой ее ряда Фурье, не смогут скопировать колебания акселерометров. Ведь хорошо известно [5], что все высокочастотные гармоники ряда Фурье, имеющие частоту $\theta_j > 0,1\omega$, искажаются по фазе и по амплитуде при их отображении акселерометрами в связи с влиянием их фазовой и частотной характеристик. Поэтому здесь не будет никакого линейного подобия суммарных графиков $\ddot{v}_r(t)$ и $v(t)$ и, следовательно, никогда не будет выполняться базовое условие сейсмометрии в форме (2).

Практически невозможно избавиться от главных искажений первого типа, вносимых собственными колебаниями приборов-маятников, при отображении ими движений грунта v_r и его ускорений \ddot{v}_r , имеющих скачки в v_r и в $\partial^n v_r / \partial t^n$ до тех пор, пока прибор еще остается маятником. Поэтому все усилия сейсмиков направлены лишь на борьбу со второстепенными искажениями второго типа, которые вносят частотные характеристики прибора в свои вынужденные колебания v_ϕ при отображении ими \ddot{v}_r и v_r . При этом совсем необоснованно подразаывается, что главные искажения (т. е. искажения первого типа) вообще полностью отсутствуют. Это допущение абсолютно противоречит наличию

всплесков на всех графиках $v(t)$, записанных акселерометрами и сейсмометрами, и отображающих скачки в $v(t)$ и любых ее производных.

Итак, мы показали, что все графики, записанные акселерометрами, не могут быть реальными акселерограммами по целой совокупности причин, перечисленных выше. На самом деле они являются лишь некоторой пока не известной нам комбинацией и собственных затухающих колебаний прибора и каких-то элементов сейсмических движений грунта.

Что касается другой задачи, решаемой в сейсмометрии при построении сейсмограмм, то легко убедиться в том, что она попросту неразрешима, так как в ее уравнении, помимо искомой функции смещений грунта $v_r(t)$, появляются еще две неизвестные константы.

Действительно, для того чтобы получить уравнение, куда вместо ускорений $v_r(t)$ в явном виде входят перемещения грунта $v_r(t)$, нам необходимо дважды проинтегрировать уравнение (1). При этом мы получим

$$v_r(t) = v(t) + 2 \zeta \omega \int v(t) dt + \omega^{-2} \int \int v(t) dt dt. \quad (3)$$

Но при двойном интегрировании функции, входящей в (1), в (3) появятся еще две неизвестные константы C_1 и C_2 . Поэтому в принципе невозможно получить из выражения (3) точное значение смещений грунта $v_r(t)$ в зависимости от формы колебаний прибора $v(t)$. Кроме того, из решения уравнения (1) также следует, что при наличии поступательных сейсмических смещений грунта, происходящих по линейному закону $v_r(t) = k_1 t$, маятник сейсмометра будет совершать лишь затухающие собственные колебания. Если $v_r(t) = k_2 t^n$, то вид $v(t)$ тоже будет иной, т. е. прибор-маятник при $v_r \neq \omega^2 v_r$, не отобразит почти никаких поступательных перемещений грунта (так как не способен это сделать). Об этом со всей очевидностью свидетельствует вся практика сейсмометрии, где остаточные сейсмические смещения грунта всегда равны нулю, тогда как в реальности они достигают нескольких метров.

Итак, мы доказали, что уже сам факт постоянного наличия серии всплесков на всех записях инерционных сейсмических приборов неопровержимо говорит о том, что они содержат собственные колебания приборов и потому в принципе не могут быть реальными сейсмограммами и акселерограммами.

Все перечисленные выше допущения, упрощения, противоречия и ошибки в сейсмической доктрине были изначально запрограммированы и заложены в нее в результате принятия простейшей колебательной модели сейсмических движе-

ний грунта и резонансной модели сейсмических разрушений зданий. Такую абстрактную модель не следовало принимать даже в качестве временной расчетной предпосылки, ибо она сразу была весьма сомнительна по следующим причинам:

1. Маловероятно, что из всего широчайшего спектра возможных частот колебаний в грунте при землетрясениях возникают именно те частоты, которые близки к собственным частотам зданий (как будто природа нарочно решила их разрушить путем резонанса).

2. Многочисленные прямые эксперименты говорят о том, что здания вообще нельзя разрушить путем возбуждения в них резонансных колебаний, так как они немедленно защищаются и уходят от резонанса за счет своих неупругих деформаций.

3. Маловероятно, чтобы сейсмические волны в грунте приняли именно самую простую и удобную для расчета, но наиболее трудную для реализации форму в виде волн гармонических колебаний. Эта форма естественна лишь для стоячей волны. Для возбуждения бегущих волн в форме гармонических колебаний необходимо наличие группы осциллирующих генераторов, которые явно отсутствуют в гипоцентре землетрясений.

4. В поверхностном грунте, не способном воспринимать растяжение, в принципе невозможно появление таких волн, где циклически меняется знак напряжения.

5. Все проверочные расчеты зданий, проведенные после землетрясений на действие записанных «сейсмограмм» и «акселерограмм», никогда не дают реальной схемы произошедшего разрушения.

6. Сам факт сейсмических разрушений противоречит известным возможностям строительной механики, позволяющим исключить любое разрушение от любого воздействия, если информация о нем отвечает реальности.

Несмотря на все эти противоречия, колебательная сейсмическая модель получила всеобщее признание и превратилась в официальную сейсмическую доктрину. Ее главным достоинством была предельная простота и удобство реализации, что позволяло раз и навсегда уйти от непредсказуемого сложного расчета на абсолютно неизвестное истинное сейсмическое воздействие, параметры которого еще предстояло найти. Благодаря принятию этой доктрины сейсмикам удалось свести весь самый сложный и неизученный сейсмический расчет зданий к решению стандартной динамической задачи об их вынужденных колебаниях. По этой причине сейсмика с самого начала стала функционировать как самый обычный раздел динамики и за все время своего существования, по сути, не сделала ничего качественно нового.

В результате всего вышеизложенного мы до сих пор не имеем практически никакой достоверной информации о реальных параметрах разрушающего сейсмического воздействия и защищаем здание не от реальной опасности, а от фиктивных резонансных колебаний. Это является главной причиной постоянных неудач в борьбе с сейсмическими разрушениями сооружений [6].

Точную информацию об опасном сейсмическом воздействии можно получить, лишь используя качественно иные (высокочувствительные) приборы, способные охватить и отобразить очень широкий диапазон ускорений грунта от $100g$ до 10^5g .

В заключение кратко перечислим некоторые предлагаемые нами меры сейсмозащиты зданий от ударных сейсмических импульсов:

1. Отказ от подвальных помещений.
2. Отказ от массивных фундаментов и от земляных работ нулевого цикла, нарушающих цельность грунтового основания.
3. Запрет на строительство в зонах, где проходят «волноводы».
4. Использование только свайных фундаментов с выступающими из земли оголовниками, которые защищены от среза стальными обоймами.
5. Введение сейсмоизолирующих толстых надземных фундаментных плит, лежащих на песчаной подушке и на выступающих концах свай (для гашения волн).
6. Отказ от использования хрупких строительных материалов (кирпич, камень, грунтоблоки, неармированный бетон и т. д.).

Литература

1. Смирнов С.Б. Ударно-волновая концепция сейсмического разрушения и сейсмозащиты сооружений / С.Б. Смирнов // Бетон и железобетон. 1992. № 11. С. 28–30.
2. Смирнов С.Б. Причины разрушения «сейсмостойких» железобетонных зданий и принципы эффективной сейсмозащиты / С.Б. Смирнов // Бетон и железобетон. 1994. № 3. С. 22–25.
3. Sergey Smirnov. Discordances between real seismic distructions and present calculations // International Civil Defennce Journal. 1994. № 1.
4. Саваренский Е.Ф. Элементы сейсмологии и сейсмометрии / Е.Ф. Саваренский, Д.П. Кирнос. М.: Гостехиздат, 1966. С. 543.
5. Смирнов С.Б. Сейсмические разрушения – альтернативный взгляд / С.Б. Смирнов, Б.С. Ордобаев, Б.Р. Айдаралиев // Сборник науч. тр. Ч. I. Бишкек: Айат, 2012. 138 с.
6. Смирнов С.Б. Сейсмические разрушения – альтернативный взгляд / С.Б. Смирнов, Б.С. Ордобаев, Б.Р. Айдаралиев // Сборник науч. тр. Ч. II. Бишкек: Айат, 2013. 144 с.