

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ КИРПИЧНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ НА МОДЕЛЯХ

В статье приведены результаты экспериментальных исследований моделей двух типов кирпичных трехэтажных жилых домов на сейсмозрывное воздействие, в основу которых легла теория расширенного подобия твердых деформируемых тел, разработанная А. Г. Назаровым [1].

Модели зданий, названные нами сейсмостойким и несейсмостойким домом, были выполнены в двух вариантах, с учетом антисейсмических мероприятий и без них. Подбор модельного материала осуществлен при случае расширенного подобия, который приближается к простому подобию. Это случай, когда ускорения для оригинала и модели равны (с соблюдением условия $\beta = \gamma = \delta = 1$), а недостаток массы компенсируется дополнительными сосредоточенными пригрузами. При этом соблюдается условие $m' = \alpha^2 m$ [2]. Такой подход приемлем и оправдан при крупномасштабных моделях. Масштаб моделей, принятый в наших опытах, равен $\alpha = 0,625$ (т. е. $\alpha = 1/1,6$), который моделирует основные несущие конструкции оригинала — стены из силикатного кирпича (толщиной 40 см). В модели толщина стены была в один кирпич — 25 см. Такой масштаб удобен с точки зрения экспериментирования, осуществления конструктивных элементов, а также расположения регистрирующей аппаратуры в характерных точках модели.

Компенсация недостающего веса осуществлялась с помощью грузов, равномерно распределенных только на междуэтажных перекрытиях моделей обоих домов; то есть определенная часть пригрузки была включена в объем междуэтажного железобетонного перекрытия, а стальная часть, в виде распределенной массы, передавалась по поверхности перекрытий, чем обеспечивалось подобие для масс материалов с достаточной степенью точности.

В плане модели домов имели размеры $11 \times 7,3$ м, расстояние между моделями 30 м.

Модели жилых домов подвергали сейсмозрывным воздействиям интенсивностью около 7 баллов в продольном и интенсивностью 8 баллов в поперечном направлениях.

Обе модели домов до и после испытания подвергли тщательному осмотру, фотографировали фасады моделей, а также их характерные узлы с целью выявления последствий взрыва.

При расшифровке каждой осциллограммы измерения амплитуд и периодов колебаний производили в начале записи и по возможности в средней и конечной частях осциллограммы. Значения параметров колебаний (смещение, скорость, ускорение) определяли как по прямым записям, так и расчетным путем.

Для получения более полного представления о параметрах сейсмических колебаний появилась необходимость их спектрального представления.

С этой целью мы применили единый метод для построения спектров и расчетов моделей сооружений, используя стандартную форму расчетов, сущность которой сводится к следующему. Расчетная схема рассматриваемого здания принимается в виде невесомого консольного бруса с сосредоточенными по высоте массами. Дифференциальные уравнения движения в главных координатах с учетом затухания принимают вид:

$$q_i'' + \alpha \omega_i q_i' + \omega_i^2 q_i = -y_0'' \frac{\sum_{k=1}^n \frac{a_{ki}}{a_{1i}} m_k}{\sum_{k=1}^n \left(\frac{a_{ki}}{a_{1i}} \right)^2 m_k}; \quad (i=1, 2, \dots, n)$$

где q_i —главная координата ($i=1, 2, 3$),
 α —коэффициент затухания,
 ω_i —частота колебаний i -ой формы,
 y_0'' —ускорение грунта.

Анализ производится с использованием акселерограммы реальных записей взрывов, а вычисления—при реальных величинах поэтажных масс. При этом принимается реальный коэффициент затухания $\alpha=0,08$ для модели сейсмостойкого дома и $\alpha=0,104$ для модели несейсмостойкого дома.

Задача эта решена на ЭВМ с учетом как упругих, так и упруго-пластичных деформаций на основе индикаторной кривой, полученной при испытании кирпичных кладок на сдвигающие усилия (рис. 1). Эта кривая аппроксимируется в виде билинейной диаграммы.

На рис. 2 показаны спектры ускорений, отвечающие упругому решению при $\alpha=0,104$ спектр-1, упруго-пластичному решению при $\alpha=0,104$ и коэффициенте упрочнения $\psi=0,36$ спектр-2, и непосредственно определенные с помощью прибора АИС-2М спектр-3. Как видно из рис. 2, соответствие между этими спектрами довольно хорошее при периодах $T>0,2$ сек. Довольно удовлетворительное соответствие имеется между спектрами 2 и 3 при периодах $T>0,2$ сек.

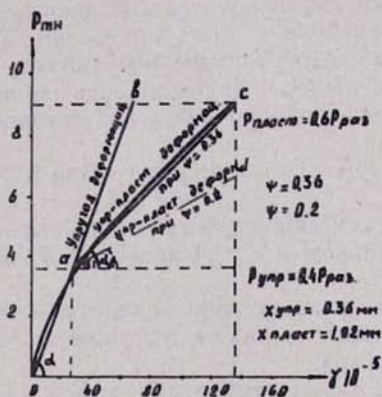


Рис. 1. Кривая деформации при сдвиге для кладки из силикатного кирпича

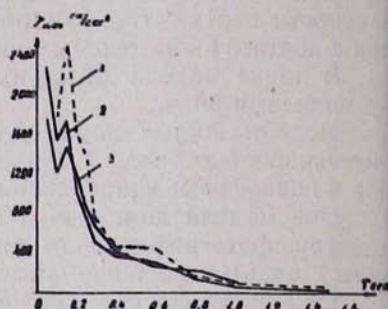


Рис. 2. Спектры ускорений, полученных на основе реальных акселерограмм взрывов 1—упругое решение при $\alpha=0,104$; 2—упруго-пластичное решение при $\alpha=0,104$; 3—эксперимент АИС-24

На рис. 3 даны сейсмические ускорения на уровнях перекрытий первого, второго и третьего этажей несейсмостойкого здания, вычисленные теоретически и полученные непосредственными измерениями. Здесь также имеет место довольно хорошее соответствие между измеренными ускорениями перекрытий и вычисленными при $\psi=0,36$.

Как видно из рисунков, различие ускорений, а значит и сейсмических сил, по сходным междуэтажным перекрытиям невелико.

Учет упруго-пластических свойств кирпичной кладки характеризовался значением $\psi = 0,36$, полученным на основе испытаний столбов из кирпичной кладки. Конечно, упруго-пластические свойства здания могут отличаться от таковых материала, его слагающего. Здесь следует иметь в виду сложную пространственную работу и взаимодействие перекрытий со стенами. Поэтому следует ожидать понижения значения ψ в зависимости от конструкции здания.

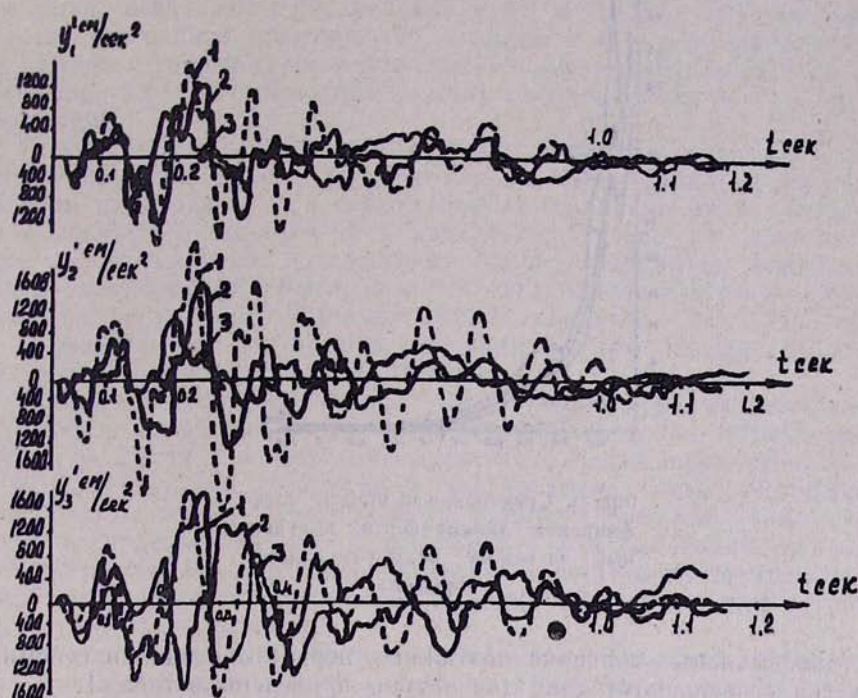


Рис. 3. Изменение ускорений во времени по этажам (нсейсмостойкий дом) при $\alpha = 0,104$ и $\psi = 0,36$ а—1-й этаж; б—2-й этаж; в—3-й этаж

Мы поставили перед собой следующую задачу: подобрать такое значение ψ , при котором расхождение между непосредственно замеренными ускорениями на уровнях перекрытий и вычисленными на ЭВМ было минимальное. Оказалось, что этому условию удовлетворяет $\psi = 0,2$.

Из всего вышеизложенного вытекает следующее: можно констатировать, что имеет место довольно хорошее согласие между теоретически вычисленными и непосредственно замеренными спектрами действия, а также между теоретически вычисленными и непосредственно замеренными сейсмическими ускорениями на уровнях междуэтажных перекрытий на основе реальных акселерограмм колебаний почвы при землетрясениях.

Спрашивается, насколько полученные данные согласовываются с нормативными, полученными на основе СНиП II-A. 12—69 5?

На рис. 4 приведены коэффициенты динамичности $\beta(T)$, вычисленные на основе спектров реакций, там же нанесена кривая $\beta(T)$, рекомендованная СНиП II-A. 12—69.

Спектры $\beta(T)$, определенные на основе упругого решения, упруго-пластического решения, а также непосредственного измерения в полевых условиях, отличаются от $\beta(T)$, по СНиП примерно в 10 раз в зоне коротких периодов, причем максимальное различие для малых периодов достигает 16 раз.

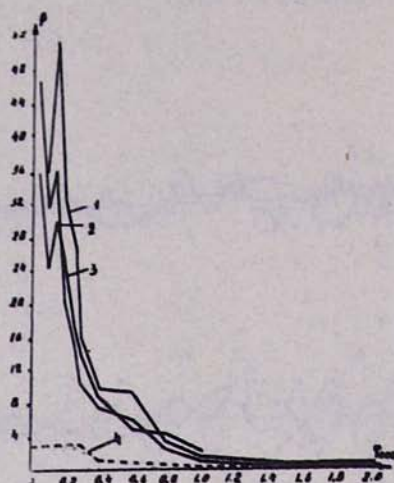


Рис. 4. Спектральные кривые коэффициента динамичности, полученные на основе реальных записей взрывов

Максимальные значения поэтажных перерезывающих и сейсмических сил по основному тону для натуре приведены в табл. 1.

Таблица 1

Максимальные значения поэтажных перерезывающих (Q) и сейсмических (S) сил для натуре по основному тону, в тоннах

Несейсмостойкий дом при $\alpha=0,104$										
Этажи	упругая стадия $\psi=1$		упруго-пластическая стадия				эксперимент		по СНиП II-A.12—69	
			$\psi=0,36$		$\psi=0,20$					
	Q	S	Q	S	Q	S	Q	S	Q	S
I	1380	470	1225	382	860	295	767	266	114	27
II	997	560	862	499	607	345	485	316	87	47
III	520	520	418	418	277	277	203	331	40	40

Максимальные значения сейсмических сил S , полученные экспериментальным путем, соответствуют разным моментам времени. В этой же таблице приведены значения сейсмических нагрузок S СНиП и поперечных сил Q СНиП, вычисленные по [5]. Как видно из табл. 1, имеется большое различие, достигающее 7 раз, между фактически

действующими сейсмическими силами и подсчитанными по СНиП. На это обстоятельство неоднократно указывалось различными авторами. Особое внимание уделено этому вопросу С. В. Медведевым, который неоднократно подчеркивал значительное снижение сейсмических ускорений, принятых нормами в сравнении с действительно имеющимися ускорениями [3, 4].

Результаты наших исследований достаточно строго показывают, что теоретически подсчитанные ускорения в уровнях междуэтажных перекрытий совпадают с ускорениями в тех же местах на основе непосредственной записи ускорений. Это говорит о том, что принятая теория расчета с учетом упруго-пластических деформаций достаточно точно отображает действительную картину распределения сил по высоте сооружений.

Спрашивается, чем же вызвано такое большое различие между фактическими значениями сейсмических сил и сил, принятых нормами?

Нам представляется, в первом приближении, что это несоответствие вызвано тем, что прочность материалов, точнее, их сопротивляемость нестационарным воздействиям значительно выше, нежели это следует из лабораторных испытаний на статическую или стационарную динамическую нагрузку (гармонические колебания).

Таким образом, анализируя экспериментально полученный материал, можно сделать следующие выводы:

1. Подтверждена целесообразность изучения проблем сейсмостойкости каменных зданий на крупномасштабных моделях, возводимых в полевых условиях и подвергаемых сейсмозрывным воздействиям.

2. Доказано, что теоретически подсчитанные силы, действующие на модель, на основе интегрирования дифференциальных уравнений с учетом упруго-пластических деформаций с использованием реальной акселерограммы землетрясений, приводят к достаточно точным значениям, проверенным путем непосредственной записи ускорений в уровне междуэтажных перекрытий.

3. Установлено, что фактические значения сейсмических сил, действующих на жесткие здания, в 5—7 раз превышают значения сейсмических сил, подсчитанных по СНиП II-A. 12—69.

4. Сопоставление выводов 2 и 3 приводит нас к предположению, что при нестационарных загрузках имеет место повышенная сопротивляемость материалов в сравнении со случаем статического нагружения или стационарного динамического нагружения, что, конечно, должно быть проверено специально поставленными опытами.

Кроме того, по-видимому, существенное значение имеет пространственная работа конструкций здания, практически не учитываемая в расчетах, которая, конечно, повышает сопротивляемость здания в целом. Поэтому здание может оказать значительно большее сопротивление, в особенности при кратковременных нагрузках типа сейсмических, чем это получается при плоской схеме расчета.

5. Установлено, что трехэтажный сейсмостойкий дом со стенами из кирпича, рассчитанный по СНиП II-A. 12—69 на 8 баллов, при удовлетворительном качестве строительных работ перенес сейсмозрывные колебания интенсивностью 8 баллов без повреждений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Назаров А. Г. О механическом подобии твердых деформируемых тел. Изд. АН АрмССР, 1965.
2. Назаров А. Г. Случай расширенного подобия твердых деформируемых тел, приближающегося к простому подобию. ДАН АрмССР, т. XV, № 3, 1967.
3. Медведев С. В. Новая сейсмическая шкала. Тр. геофизического института АН СССР, № 21, 1953.
4. Медведев С. В. Международная шкала сейсмической интенсивности. Сейсмическое районирование СССР. М., 1968.
5. Строительные нормы и правила. 4.П, глава 12. Строительство в сейсмических районах. СНиП II-A. 12-69. М., Стройиздат., 1977.