

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

В. А. МНАЦАКАНЯН

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕОРИИ РАСШИРЕННОГО ПОДОБИЯ
К ИССЛЕДОВАНИЮ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ КАМЕННЫХ
КОНСТРУКЦИЙ

Изучению динамических свойств зданий и сооружений путем использования сейсмозрывных волн посвящен ряд работ. Однако, работ по изучению динамики сооружений с помощью моделей на сейсмозрывное воздействие сравнительно мало. Между тем крайне целесообразно проведение экспериментальных исследований на моделях с использованием сейсмозрывного воздействия. 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].

Выбор кирпичного трехэтажного жилого дома в качестве объекта для целей моделирования на сейсмозрывное воздействие был продиктован, исходя из следующих соображений: во-первых, массовым возведением таких зданий в районах 8—9 балльной сейсмичности, во-вторых, необходимостью сравнить работу моделей зданий с антисейсмическими мероприятиями и без них для оценки эффективности их применения.

Обеспечение условий расширенного подобия для моделирования кирпичной кладки связано с большими трудностями при подборе модельного материала. Для каменной кладки, состоящей из различного рода материалов, обеспечение коэффициентов β и γ весьма затруднительно. Более выгодным является случай расширенного подобия, когда ускорения для оригинала и модели равны и имеют место большие перемещения при $\gamma \approx 1$. Этот случай приближается к простому подобию [2] и для множителя подобия плотности имеет место условие $\delta = 1/\alpha$. Тогда остальные множители подобия будут: для напряжений $\beta = 1$, для масс α^2 , для времени $\xi = 1/\alpha$, для модулей деформаций $\beta/\gamma = 1$, для погонной нагрузки α , для сосредоточенной нагрузки α^2 , для объемных сил $1/\alpha$. Следовательно, деформационные свойства и напряженные состояния оригинала и модели одинаковы. При таком подходе несколько затрудняется подбор модельного материала, деформационные свойства которого должны совпадать со свойствами материала оригинала, а плотность — отличаться в $1/\alpha$ раза.

Однако, в тех случаях, когда имеется возможность распределенную массу заменить дискретными массами, сосредоточенными на междуэтажных перекрытиях, рассмотренные условия подобия становятся весьма удобными. Тогда необходимо для масс принять условие* $m' = \alpha^2 m$ [2]. Удобство такого подхода заключается в том, что ускорения для оригинала и модели равны между собой и не требуются дополнительные безынерционные пригрузки. Такой случай расширенного подобия еще больше расширяет область применения простого подобия, соблюдая условие $\beta = \gamma = \delta = 1$, а недостаток веса компенсируя дополнительными сосредоточенными пригрузками. На основании вышесказанного и произведен подбор модельного материала.

Выбор масштаба модели — множителя подобия линейных размеров α , произведен, исходя из соображений максимального использования имеющегося под рукой модельного материала — силикатного кирпича строго стандартных размеров, а также соблюдения идентичности технологии кладки кирпичных стен модели и оригинала. При этом наиболее удобным является масштаб $\alpha = 0,625$, моделирующий основные несущие конструкции оригинала — кирпичные стены, толщиной 40 см. Тогда и модели будем иметь толщину стен в один кирпич — 25 см. Такой масштаб удобен еще и тем, что создаются лучшие условия для проведения эксперимента: облегчается осуществление и возведение конструктивных элементов модели, а также установка регистрирующей аппаратуры и ее характерных точек. Поэтому в качестве модельного материала нами принят материал оригинала. Следовательно, для характерных величин имеют место следующие условия подобия:

$$\sigma' = \sigma; \varepsilon' = \varepsilon; E' = E; m' = \alpha^2 m; W' = W.$$

Здесь σ' и σ — напряжения; ε' и ε — деформации; E' и E — модули деформации; m' и m — массы; W' и W — ускорения.

Обеспечение недостающего веса — пригрузки модели — в наших опытах осуществлялось с помощью грузов, равномерно-распределенных по междуэтажным перекрытиям. Причем, определенная часть пригрузки была непосредственно включена в объем междуэтажного железобетонного перекрытия.

Железобетонные междуэтажные перекрытия оригинала — многопустотные панели — в модели были заменены сплошными плитами, отвечающими прочности и жесткости оригинала и позволяющими включить в себя пригрузку, приходящуюся на междуэтажное перекрытие от полезной нагрузки и веса панелей. Пригрузка от собственного веса стен осуществлялась поэтажным нагружением перекрытий распределенной массой в виде кирпичей. Сопоставление механических характеристик оригинала и модели приведено в табл. 1. Данные этой таблицы свидетельствуют о высокой точности изготовления модели — отклонения

* Здесь и в дальнейшем буквенные обозначения со штрихом относятся к модели.

Таблица 1

Механические характеристики оригинала и модели

Величины	Единица измерения	Оригинал	Модель		
			фактические	расчетные	отклонение, %
Масса (I и II этажи)	т	282	111	110	0,9
Масса III этажа	т	203	82,3	79,2	3,7
Площадь сечения поперечных стен	м ²	15,5	6	6	0
Момент инерции поперечных стен	м ⁴	183	28	28	0
Период собственных колебаний в поперечном направлении	сек	0,172	0,137	0,136	0,7
Площадь сечения продольных стен	м ²	12,6	4,9	4,9	0
Момент инерции продольных стен	м ⁴	378	57,5	57,5	0
Период собственных колебаний в продольном направлении	сек	0,176	0,140	0,139	+0,7

механических характеристик модели от тех же величин оригинала составляют в среднем 1%.⁰

Для определения параметров колебаний грунта и моделей на грунте, фундаменте и в трех точках по высоте модели были установлены измерительные приборы по двум или трем направлениям составляющих. Кроме того, для определения приведенных сейсмических ускорений на грунте и фундаментах моделей устанавливались многомагнитниковые сейсмометры АИС-2М. План расстановки моделей и приборов показан на рис. 1.

Модели жилых домов, выполненные в двух вариантах — сейсмостойком и несейсмостойком, подвергались сейсмозрывным воздействиям в двух опытах:

I опыт — при интенсивности VII баллов в продольном направлении;

II опыт основной — при интенсивности VIII баллов в поперечном направлении.

Значения параметров колебаний (смещение, скорость, ускорение) определялись как по записям, так и расчетным путем. Их сопоставление показывает, что величины параметров, полученные расчетным путем, можно использовать только для предварительной оценки из-за их

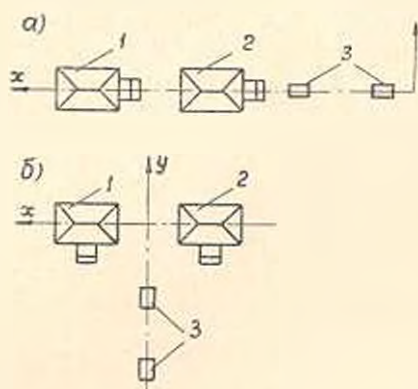


Рис. 1 План расстановки моделей и приборов: а) при I опыте; б) при II опыте. 1 — несейсмостойкий дом; 2 — сейсмостойкий дом; 3 — камера измерительных приборов.

значительного расхождения с измеренными данными. Поэтому для получения более надежных выводов необходимо производить прямые замеры всех параметров колебаний (смещение, скорость, ускорение, приведенное ускорение) и по ним строить спектры. Было также отмечено, что максимальные значения смещения, скорости и ускорения относятся не к одной фазе, а к различным фазам общего колебательного процесса. Наличие такого факта затрудняет дать оценку сейсмического воздействия по максимальным параметрам колебаний. Поэтому появилась необходимость спектрального представления колебаний.

На рис. 2 сплошными линиями показаны интервалы смещений грунта для VII и VIII баллов, согласно [3, 4]. Из рисунка видно, что интенсивность колебаний грунта при втором взрыве соответствует VIII баллам.

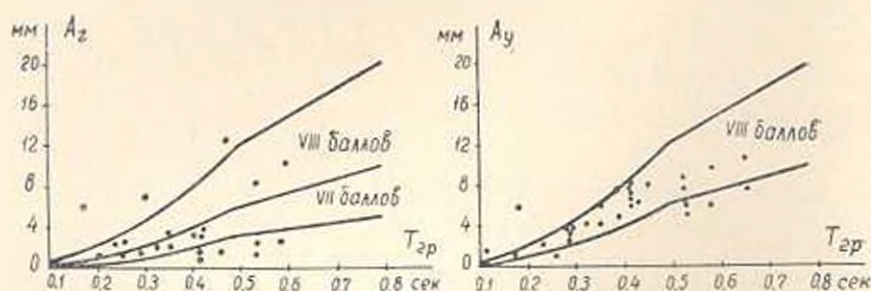


Рис. 2. Спектр смещений при II опыте.

На грунте были расставлены сейсмометры АИС-2М для определения приведенных сейсмических ускорений системы с одной степенью свободы. На рис. 3 точками нанесены измеренные приведенные сейс-

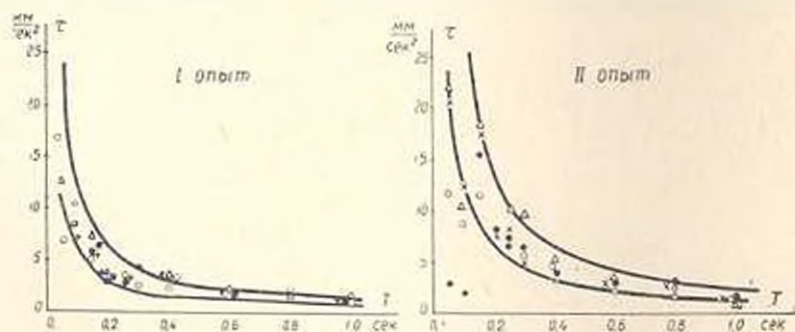


Рис. 3. Спектры приведенных сейсмических ускорений, определенных сейсмометрами АИС-2М: ● — у сейсмостойкого дома; ○ — у несейсмостойкого дома; ▲ — на расстоянии 50 м от домов; × — на расстоянии 300 м от домов.

мические ускорения. Там же сплошными линиями нанесены интервалы приведенных сейсмических ускорений при интенсивности в VII и VIII баллов. Как видно, горизонтальные площадки приведенных сейсмических ускорений в интервале периодов 0–0,3 сек или в интервале периодов 0–0,5 сек [4] не подтверждаются опытом и с ростом перио-

доп колебаний, начиная с 0,05 сек, приведенные сейсмические ускорения монотонно убывают. Это положение было отмечено и ранее в работах [5, 6]. Из рис. 3 видно, что интенсивность сейсмозрывного воздействия при первом опыте соответствует VII баллам, а при втором — VIII баллам. Это подтверждается также макросейсмическими данными, а именно: после первого опыта контуры всех сборных перемычек несейсмостойкого дома обозначались волосными трещинами. Отдельные случаи появления последних имели место и в кладке стен. Согласно описательной части шкал ИФЗ и MSK-1964, такие нарушения соответствуют легким повреждениям при интенсивности землетрясения и VII баллов. После второго опыта стены несейсмостойкого дома получили значительные повреждения — образовались трещины, что, согласно указанным шкалам, относится к интенсивности в VIII баллов. В стенах сейсмостойкого дома, как после первого, так и после второго взрыва, видимых повреждений не было обнаружено.

Таким образом, можно констатировать, что как по макросейсмическим, так и по инструментальным данным, интенсивность колебаний при первом опыте соответствует VII баллам, а при втором — VIII баллам.

На основании анализа полученного экспериментального материала можно сделать следующие выводы:

1. Рассмотренный нами случай расширенного подобия, который приближается к простому, при решении поставленной задачи является наиболее выгодным, ввиду упрощения в технике экспериментирования, а также возможности замены распределенной массы дискретными при соблюдении $m' = 2^2 m$.

2. Сейсмостойкий дом со стенами из кирпича, рассчитанный по СНиП II-A. 12-62 на VIII баллов, при удовлетворительном качестве строительных работ выдержал сейсмозрывные колебания интенсивностью в VIII баллов без каких-либо повреждений.

3. Монолитные железобетонные антисейсмические пояса, соединенные с перемычками, а также горизонтальное сетчатое армирование кладки, являются надежными конструктивными мероприятиями, повышающими сейсмостойкость зданий в целом.

4. При рассмотрении спектров сейсмозрывных волн на выбранных расстояниях обнаруживается некоторое подобие этих спектров со спектрами естественных землетрясений. Это дает возможность рекомендовать использование сейсмозрывных волн для исследования сейсмостойкости сооружений в условиях, близких к естественным землетрясениям, широко используя при этом моделирование.

5. Для получения наиболее обоснованных данных о колебаниях грунта и сооружения целесообразно получение одновременных записей смещений, скоростей, ускорений и приведенных ускорений в одной и той же точке.

6. Целесообразно интенсивность землетрясений оценивать не по

одному экстремальному значению параметра, а по всему характеру спектра в целом.

ИГИС АН АрмССР

Поступило 7.X.1969.

Վ. Լ. ՄՆԱՑԱԿԱՆՅԱՆ

ԸՆԴԱՅՆԱԿԱՆ ՆՄԱՆՈՒԹՅԱՆ ՏՆՍՈՒԹՅԱՆ ԿԻՐԱԹՄԱՆ ՓՈՐՁ ԲԱՐԱՅԻՆ
ԿՈՆՍՏՐԱԿՏԻՎԱՆԵՐԻ ՍԵՅՍՄԱԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՄԱՆ ՄԵՋ

Ա մ փ ո փ ու մ

Հաղվածում քերվում են սիյամապայթյունային ալիքների աղդեցության հերթը երկու հռահարկ աղյուսե բնակելի շենքերի մոդելների սեյսմակայունության ուսումնասիրման արդյունքները: Մոդելները պատրաստված են երկու տարբերակներով՝ հակաերկրաշարժային միջոցառումների պահպանումով և առանց վերջինների: Մոդելացումը կատարված է Ա. Գ. Նալարովի ղեկավարությամբ և նախարկի և նախարկի մարմինների ղեկավարված նմանության տեսության մի ղեկավար հիման վրա, որը մոտենում է հասարակ նմանությանը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Назаров А. Г. О механическом подобии твердых деформируемых тел. Изд. АН АрмССР, Ереван, 1965.
2. Назаров А. Г. Случай расширенного подобия твердых деформируемых тел, приближающегося к простому подобию. „ДАН АрмССР“, т. XI.V, № 3, 1967.
3. Медведев С. В. Новая сейсмическая шкала. „Труды геофизического института АН СССР“, № 21, 1953.
4. Медведев С. В. Международная шкала сейсмической интенсивности. Сейсмическое районирование СССР. М., 1968.
5. Шигинян С. А. Результаты инструментального определения коэффициентов динамичности. „Сборник статей по сейсмостойкому строительству. К пересмотру норм“, Душанбе, 1960.
6. Шигинян С. А. Приписанные сейсмические ускорения при землетрясениях. „Бюллетень Совета по сейсмологии“, № 14, 1963.