

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

С. Г. ШАГЦЯН

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОДЕЛИ
9-ЭТАЖНОГО ЖИЛОГО ДОМА В МАСШТАБЕ 1 : 50

Целью настоящей статьи является обобщение результатов экспериментальных исследований основных динамических характеристик девятиэтажного железобетонного каркасно-панельного жилого дома и модели в масштабе 1 : 50. Эти исследования мелкомащтабной модели были проведены как предпосылочные, для подготовки к более фундаментальным исследованиям крупномасштабной модели (в масштабе 1 : 4) вышеуказанного дома на сейсмозащитном воздействии.

Экспериментальные работы проведены по теории подобия твердых деформируемых тел, применительно к моделированию строительных конструкций, разработанной академиком АН АрмССР А. Г. Назаровым [1]. Согласно этой теории моделирование элементов конструкций можно осуществить по принципу простого и расширенного, а также поэлементного или статистического подобия.

При расширенном подобии область применения модельных материалов очень обширна. Для изготовления мелкомащтабных моделей могут быть применены материалы с различными физико-механическими свойствами: металлы, растворы, гаша, целлулоид, оргстекло и др. [2].

Исходя из вышеуказанной теории подобия, нами была подготовлена модель девятиэтажного жилого дома, проект которого был разработан институтом «Армгоспроект». Конструкция здания—железобетонный каркас из сборных крестообразных колонн, высотой в два этажа, железобетонные сборные поперечные прямоугольные и продольные тавровые ригели из бетона марки 300, круглопустотные панели перекрытия и несущие панели ограждения из легкого бетона марок 200 и 75.

Модель почти является геометрической копией оригинала (с небольшими отклонениями—без перегородок и наружных ограждений) с уменьшенными размерами.

Аксонметрическая схема и план модели приведены на рис. 1.

Масштаб модели нами выбран 1 : 50, материал модели—оргстекло. При применении других высокопрочных модельных материалов для получения одинакового ускорения модели и оригинала, по предварительным расчетам, необходима компенсация собственной массы модели более чем в 35 раз (от массы модели), что значительно затрудняет проведение эксперимента из-за отсутствия необходимой площадки

для размещения или подвески дополнительных грузов. Исходя из этих соображений, а также имея в виду другие ценные качества оргстекла (точная и легкая обработка, небольшая объемная масса, малый модуль упругости и др.), для изготовления модели нами выбрано оргстекло.

Проведены испытания образцов из оргстекла. Его основные физико-механические показатели, по данным испытаний, приведены в табл. 1.

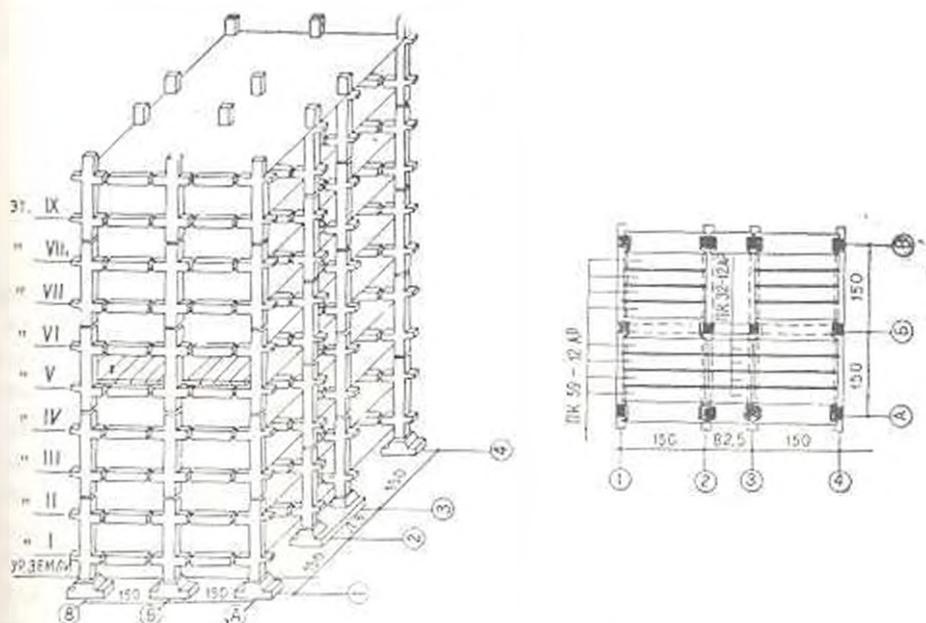


Рис. 1. Аксонометрия каркаса и план типового этажа. (Перекрытие над лестничной клеткой монолитное. Условно показано только перекрытие над 4-ым этажом. Все размеры в сантиметрах.)

Таблица 1

Температура, °С	Предел прочности		Модуль упругости E , кг/см ²	Удельная масса, гр/см ³
	на растяжение R_p , кг/см ²	на сжатие (кубическая) $R_{сж}$, кг/см ²		
20	350 : 400	1350 : 1450	28000 : 30000	1,15 : 1,20

По результатам испытаний образцов из оргстекла на осевое сжатие, построен график зависимости коэффициента продольного изгиба φ от гибкости l_0/b (рис. 2), который аппроксимируется следующими выражениями:

$$\varphi = 1,55 \left(\frac{l_0}{b} \right)^{-1,1} \quad \text{при } 3 \leq \frac{l_0}{b} < 11 \quad (\text{кривая 1 рис. 2});$$

$$\varphi = 21,7 \left(\frac{l_0}{b} \right)^{-1,5} \quad \text{при } 11 \leq \frac{l_0}{b} < 15 \quad (\text{кривая 2 рис. 2}).$$

График φ для оргстекла значительно отличается от аналогичных графиков для стали, бетонов и дерева. Если при проектировании железобетонных, деревянных и металлических конструкций по СНиП влияние продольного изгиба в расчетах учитывается при значениях гибкости

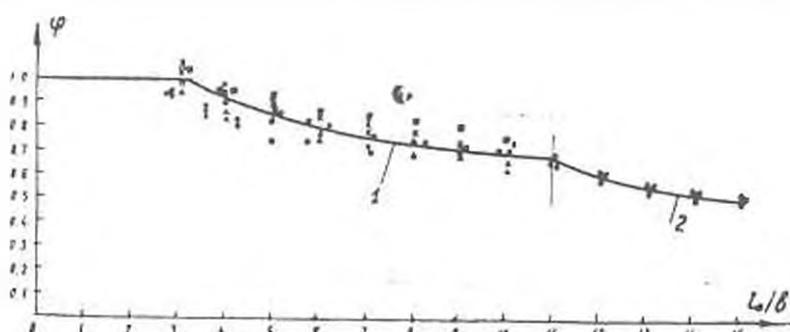


Рис. 2. График зависимости коэффициента продольного изгиба (φ) для оргстекла от гибкости (l_0/b). Условные обозначения размеров образцов ($b \times h$): ● — 70×85 мм; ▲ — 50×50 мм; × — 60×60 мм; □ — 80×80 мм.

колонн $\frac{l_0}{b} > 8$, то в расчетах моделей из оргстекла влияние продольного изгиба необходимо учесть, начиная уже с гибкости $\frac{l_0}{b} > 3$.

Выбор множителей подобия. Расчет пригрузки модели. Масштаб модели или множитель геометрического подобия ($\alpha = 0,02$) выбран, в основном, исходя из стандартных размеров оргстекла, а также из условия установки на перекрытиях вибраторов очень малой мощности [3].

Согласно теории расширенного подобия модули упругости E' и E модели и оригинала (здесь и далее все заштрихованные величины относятся к модели) связаны соотношением:

$$E' = \frac{\beta}{\gamma} E,$$

где β — множитель подобия для напряжений; γ — множитель подобия для деформаций.

Принимаем $\gamma = 1$, что всегда можно обосновать при малых деформациях [1]. Тогда множитель подобия для напряжений будет:

$$\beta = \frac{E'}{E} = \frac{30000}{315000} \approx 0,1.$$

Множитель подобия для плотности δ равен:

$$\delta = \frac{\Delta'}{\Delta} = \frac{1,2}{2,4} = 0,5,$$

где Δ' и Δ — удельные массы оргстекла и железобетона.

Множитель подобия для времени ξ определяется по формуле:

$$\xi = \sigma \sqrt{\frac{\gamma \delta}{\beta}}$$

При $\sigma=0,02$; $\beta=0,1$; $\gamma=1,0$ и $\delta=0,5$ находим:

$$\xi = 0,02 \sqrt{\frac{1 \cdot 0,5}{0,1}} = 0,045.$$

Объемные силы K' и K модели и оригинала связаны соотношением:

$$K' = \frac{\rho}{\alpha} K$$

$$\text{или } K' = \frac{0,1}{0,02} K = 5K.$$

При массе модели 8 кг, пригрузка составляет $4 \times 8 = 32$ кг.

Пригрузка осуществлена в виде прямоугольных стальных листов, подвешенных в уровнях перекрытий модели. Такое решение исключает влияние массы пригрузки на динамические характеристики модели.

Испытательный стенд. Измерительная аппаратура. Для испытания модели на динамические и статические воздействия нами был сконструирован специальный металлический стенд, размерами 1750×850 мм, высотой 750 мм, на четырех трубчатых стойках диаметром 75 мм. При испытаниях модель (фундаментная плита) была жестко прикреплена к стенду. С помощью съемных кронштейнов и приспособлений на стенде можно было произвести различные виды испытаний и операций. При статических испытаниях с помощью раздвижной плиты, системы тросов, роликов и др. можно осуществлять синхронное приложение (также сжатие) горизонтальных нагрузок как одного направления так и знакопеременных—в 25 точках модели (для получения смещений по II и III формам колебаний).

При динамических испытаниях вынужденные колебания возбуждались с помощью двух специально изготовленных вибраторов (с массами маятников 300 и 33 граммов). Первый, сравнительно мощный, вибратор использован с целью получения I и II форм колебаний, второй—III формы.

Напряжения в разных сечениях колонны по высоте определялись с помощью электрических тензодатчиков сопротивления, для измерения смещений упругой оси модели были сконструированы миниатюрные датчики электромагнитного действия. В качестве регистрирующей аппаратуры использованы осциллографы ЦОБ—12М, СС—1, усилитель 8—АНЧ—7М, звукогенератор ГЗ—34 и др.

Общий вид стенда с моделью, смонтированной на нем, показан на рис. 3.

Динамические испытания модели. При динамических испытаниях были определены периоды свободных и вынужденных колебаний II,

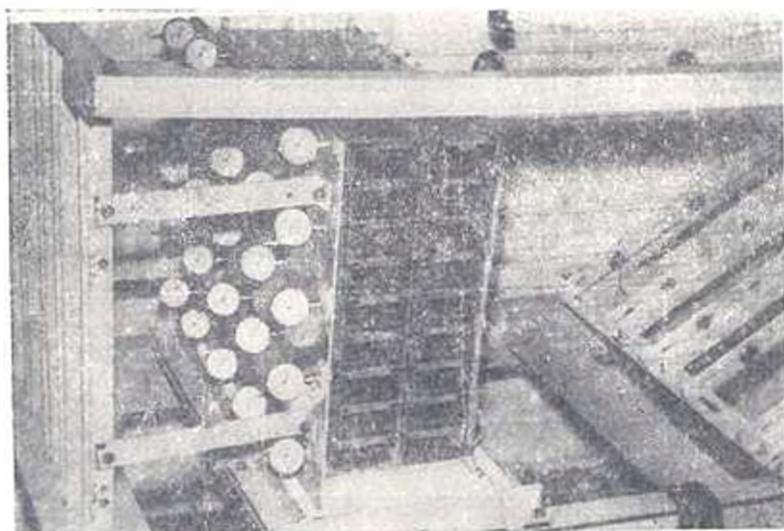


Рис. 3. Обшири вид стенда с моделью.

II и III гонов), смещения по высоте, скорости и ускорения колебаний, а также логарифмический декремент колебаний модели. Определен также период крутильных колебаний модели.

Свободные колебания модели возбуждались ударами в уровне чердачного перекрытия и мгновенным обрезанием растянутой через ролики нити. Периоды свободных колебаний получились:

- в поперечном направлении $T''_0 = 0,0398 \text{ сек} (f = 25,1 \text{ Гц})$;
- и продольном направлении $T''_0 = 0,0414 \text{ сек} (f = 24,0 \text{ Гц})$;
- крутильных колебания $T''_{кр} = 0,034 \text{ сек} (f = 29,4 \text{ Гц})$.

Периоды свободных колебаний определялись также теоретическим путем, при этом модель, как самостоятельное здание, была рассчитана на сейсмическое воздействие, согласно СНиП II—А.12—69. После обработки данных расчета, полученных на ЭВМ, выведены следующие расчетные величины периодов в поперечном направлении $T_0 = 0,044 \text{ сек}$, в продольном направлении $T_0 = 0,045 \text{ сек}$, т. е. разница между экспериментальными и расчетными значениями периодов составляет всего 7—15%. Таким путем были сопоставлены также периоды высших форм колебаний, при этом разница не превышала 15—20%.

Далее сделана попытка по результатам экспериментальных (намеренных) значений периодов свободных колебаний модели T_0 определить аналогичные значения для натурного здания (T_0) с помощью множителя подобия для времени ξ . Согласно работы [1] $T_0 = \xi T_0$.

Таким образом, получаем периоды свободных колебаний для пагуры:

$$\text{в поперечном направлении } T_0 = \frac{T_0}{\xi} = \frac{0,0398}{0,045} = 0,89 \text{ сек.}$$

в продольном направлении $T_0 = \frac{0,0414}{0,045} = 0,93$ сек.

Те же, по результатам расчетных величин периодов модели, будут:

в поперечном направлении $T_0 = \frac{0,045}{0,045} = 1,0$ сек.

в продольном направлении $T_0 = \frac{0,045}{0,045} = 0,98$ сек.

По расчетам института «Аргоспроект» периоды свободных колебаний исходного 9-этажного жилого дома в поперечном и продольном направлениях соответственно равны 0,94 и 1,10 сек; разница составляет от 5,3 до 15,5%. Как видно из вышеприведенного сравнения, множитель подобия времени ξ определен довольно точно.

Результаты испытаний модели сравнивались с результатами, полученными по формулам других авторов. В частности, в Японии [4] периоды свободных колебаний зданий до 20 этажей определяют по формуле:

$$T_0 = 0,095N,$$

где N —число этажей.

Следовательно, для 9-этажного дома $T_0 = 0,095 \cdot 9 = 0,86$ сек.

При переходе к модели:

$$T'_0 = T_0 \xi = 0,86 \cdot 0,045 = 0,039$$
 сек.

То таким путем полученная величина периода почти что совпадает с измеренными и расчетными величинами периодов модели.

Аналогичные сопоставления были сделаны и для II и III форм колебаний. Разница и в этом случае была небольшая.

Далее определены смещения по высоте модели при I, II и III фор

I форма



II форма



III форма



Рис. 4. Формы колебаний модели в поперечном направлении: ————— экспериментальные; - - - - - расчетные.

мах колебаний. Изогнутые оси модели, соответствующие этим формам колебаний, показаны на рис. 4.

По развертке свободных затухающих колебаний был определен логарифмический декремент колебаний модели, который равнялся 0,22-0,30.

Выводы

1. На мелкомасштабных моделях можно получить качественные данные о динамических характеристиках высотных зданий.

2. Экспериментами установлена правильность подбора множителей подобия по теории расширенного подобия. По результатам испытаний модели приблизительно можно судить о динамическом поведении натурного здания.

Институт «Армгоспроект»

Поступило 27.XII.1971

Ս. Գ. ՇԱՆԻՅԱՆ

Զ-ՇԱՐԿԱՆԻ ԲՆԱԿԵԼԻ ՏԱՆ 1 : 50 ԽՆԱՇՏԱՐԻ ՄՈՂԵԼԻ ԳԵՆԱՄԻՈՒԿԱՆ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ՓՈՐՁԱՐԱՐԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱՐԿԻՏՈՒՆՔՆԵՐԸ

Ա ռ զ յ ի ռ յ յ Վ

Հոգեվածում բերված են Զ-Շարկանի բնակելի տան 1 : 50 մասշտաբի մոդելի փորձարարական հետազոտությունների արդյունքները: Փորձարարական հետազոտությունների համար հիմք է ծառայում «Հայրենասիրական» ինստիտուտի կողմից մշակված Զ-Շարկանի բնակելի տան նախագիծը: Խոցելը պատրաստվել է օրգանական ապակուց, նախորդ ուսումնասիրվել են օրգանական ապակու հիդրոկա-մեխանիկական հատկությունները: Խոցելացումը հատարվել է բառ պրոֆ. Ա. Նազարովի կողմից մշակված ընդլայնված եմանություն տեսության: Սրուշվել են մոդելի դինամիկական բնութագրերը, սրունք համապատասխան եմանության գործադիրքների միջոցով համեմատվել են իրական շենքի համանման բնութագրերի հետ: Փորձերի հիման վրա տրված են համապատասխան եզրակացություններ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Назаров А. Г. О динамическом подобии твердых деформируемых тел. Изд. АИ АрмССР, Ереван, 1965.
2. Писюнок И. I. Расчет строительных конструкций на основе моделирования. Госстройиздат, 1965.
3. Шаниня С. Г. Исследование сейсмостойкости крупноплощадных домов на моделях. Госстройиздат, М., 1967.
4. Биховский В. А., Завриен К. С. и др. Сейсмостойкие сооружения за рубежом. Госстройиздат, М., 1968.