

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

С. Г. АРАКЛЯН

К ВОПРОСУ ДИНАМИЧЕСКОГО ИСПЫТАНИЯ ЗДАНИЙ С  
УЧЕТОМ ВЫСШИХ ФОРМ КОЛЕБАНИЙ

Одним из основных способов динамического испытания зданий и сооружений является резонансный метод, сущность которого заключается в том, что испытываемый объект с помощью установленной на нем специальной вибрационной машины вводится в резонансный режим по его формам колебаний в отдельности [1]. Однако в действительности здания и сооружения при динамических воздействиях, в частности при землетрясениях, находятся в более сложном напряженно-деформированном состоянии вследствие суперпозиции нескольких форм колебаний.

В связи с изложенным предложено испытание зданий и сооружений, для которых влияние высших форм колебаний существенно, проводить с помощью нескольких одновременно действующих вибростанов, установленных на различных уровнях по высоте объекта [2].

Такой подход к моделированию сейсмического воздействия позволяет, в определенной мере, приблизить работу сооружений к реальным условиям и экспериментально изучить напряженное состояние конструкций при наложении нескольких форм колебаний.

Испытания, проведенные указанным методом на модели стального каркаса 9-этажного здания, показали принципиальную возможность его применения на практике [3]. Они одновременно показали, что такие испытания связаны с рядом технических трудностей, вызванных тем, что практически не представляется возможным сообщить испытываемому зданию несколько гармонических воздействий, одновременно достигающих своих фиксированных значений, так как для ввода здания в устойчивый резонансный режим по данной форме колебаний требуется определенный, причем разный для каждой формы, отрезок времени.

Так, для ввода здания в устойчивый резонансный режим по первой форме колебания с момента пуска вибростанов в среднем требовалось 35 сек, а по второй и третьей формам соответственно 2 и 2,5 сек. Вследствие этого после включения всех вибростанов суммарный эффект динамического воздействия на здание будет являться результатом наложения различных воздействий со случайным сдвигом фаз между ними. Поэтому для оценки степени достоверности полученных результатов следует выявить влияние сдвигов фаз между отдельными воздействиями

по отдельным формам колебаний на суммарное воздействие в результате наложения.

Для аналитического изучения данной задачи, не пользуясь экспериментальными значениями наибольших перемещений точек модели от каждой формы колебаний в отдельности, построены графики суммарных перемещений при их наложении по формуле:

$$y_i^0 = y_{1i} \sin(2\pi f_1 t + \epsilon_1) + y_{2i} \sin(2\pi f_2 t + \epsilon_2) + y_{3i} \sin(2\pi f_3 t + \epsilon_3),$$

где  $y_i^0$  — перемещение  $i$ -ой точки модели при суммировании I, II и III форм колебаний;

$y_{1i}, y_{2i}, y_{3i}$  — экспериментальные резонансные смещения  $i$ -ой точки модели соответственно по I, II и III формам колебаний;

$f_1, f_2, f_3$  — экспериментальные частоты колебаний модели соответственно по I, II и III формам;

$\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$  — сдвиги фаз;

$t$  — время.

Выбор данной формулы обусловлен тем, что каждая из вибраций возбуждает гармонические колебания.

Экспериментальные частоты первых трех форм свободных колебаний модели соответственно равны:

$$f_1=3 \text{ Гц}; f_2=10,5 \text{ Гц}; f_3=19,8 \text{ Гц}.$$

В табл. 1 приведены значения максимальных смещений точек модели, определенные расчетом при суммировании I, II и III форм колебаний с различными фазовыми сдвигами и при различных соотношениях

Таблица 1

Максимальные смещения точек модели (этажей) при различных соотношениях ее частот и различных значениях фазовых сдвигов

$f_3 : f_2 : f_1$	Этажи	Максимальные смещения в мм при значениях фазовых сдвигов $\epsilon_1, \epsilon_2$ и $\epsilon_3$																						
		0; 0; 0	0; 0; $\pi/5$	0; 0; $2\pi/5$	0; 0; $3\pi/5$	0; 0; $4\pi/5$	0; 0; $\pi$	0; $\pi/2$ ; $\pi/5$	0; $\pi/2$ ; $2\pi/5$	0; $\pi/2$ ; $3\pi/5$	0; $\pi/2$ ; $4\pi/5$	0; $\pi/2$ ; $\pi$	0; $3\pi/4$ ; $\pi/5$	0; $3\pi/4$ ; $2\pi/5$	0; $3\pi/4$ ; $3\pi/5$	0; $3\pi/4$ ; $4\pi/5$	0; $3\pi/4$ ; $\pi$	0; $\pi$ ; $\pi/5$	0; $\pi$ ; $2\pi/5$	0; $\pi$ ; $3\pi/5$	0; $\pi$ ; $4\pi/5$	0; $\pi$ ; $\pi$		
1:3:5,66	I	56	54	55	58	58	57	55	57	55	54	56	57	58	56	58	57	56	57	58	57	58	57	58
	IX	690	699	694	699	690	670	700	700	694	690	676	717	708	690	692	691	699	708	699	690	690	680	680
1:2,85	I	56	58	57	56	55	54	56	56	55	54	53	58	56	56	55	53	56	53	56	53	52	54	53
	IX	641	662	680	699	703	703	704	717	713	699	690	662	694	708	713	708	693	690	694	708	694	708	713
1:2:4	I	44	46	49	51	53	52	50	44	45	50	54	55	51	47	45	46	53	51	49	46	46	45	45
	IX	658	660	660	648	634	611	700	726	713	708	690	680	691	700	699	690	634	648	660	660	660	658	658

Примечание. Реальное соотношение частот модели—1 : 3,5 : 6,6; остальные соотношения выбраны для аналитической оценки.

частот собственных колебаний. Данные табл. 1 показывают, что при суммировании I, II и III гармоник, когда частоты относятся как  $f_1 : f_2 : f_3 = 1 : 3,5 : 6,6$ ;  $f_1 : f_2 : f_3 = 1 : 2,8 : 5$ ;  $f_1 : f_2 : f_3 = 1 : 2 : 4$ , наибольшая разница между максимальными смещениями точек модели при различных фазовых сдвигах соответственно доходят до 6; 10; 20%. При этом, чем больше разрыв между частотами отдельных форм колебаний, тем меньше влияние фазовых сдвигов.

В табл. 1 приведены значения максимальных горизонтальных смещений модели на уровнях только I, VI и IX этажей; как показали проведенные вычисления, аналогичное явление имеет место и для остальных этажей.

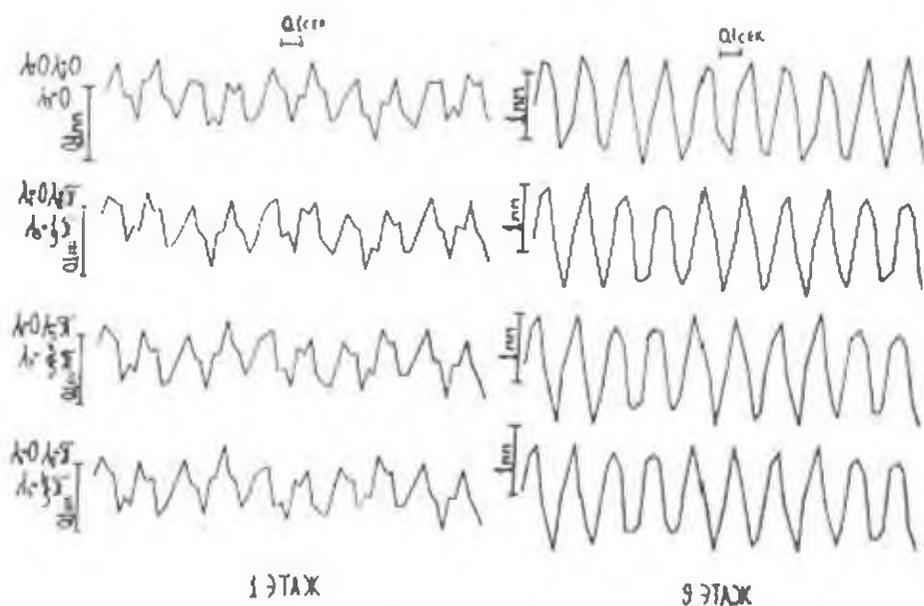


Рис. 1

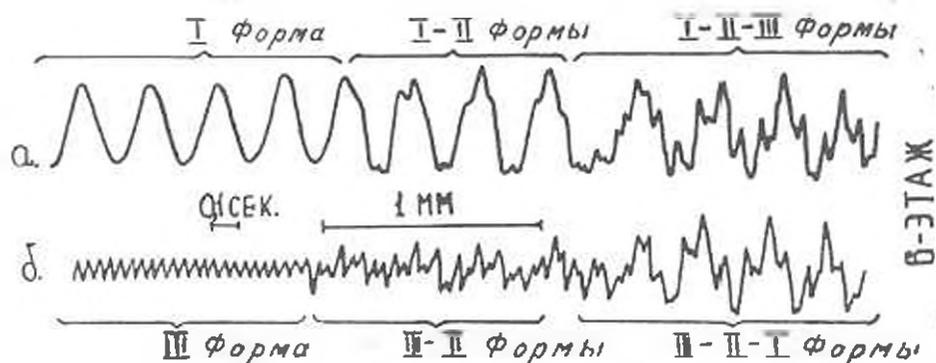


Рис. 2

Заметим, что аналитические и экспериментальные исследования [4, 5] периодов колебаний каркасных зданий также показали соотношение  $1 : 3 : 5$  для первых трех форм свободных колебаний.

На рис. 1 приведены некоторые графики смещений точек модели при суммировании первых трех форм колебаний с различными значениями сдвига фаз между ними, которые наглядно иллюстрируют, что сдвиг фаз не приводит к существенным изменениям в качественной картине наложения, а только сдвигает графики соответствующих точек модели друг относительно друга на некоторую, постоянную во времени, величину.

Для экспериментального выявления влияния последовательности включения отдельных вибростанов на картину наложения нескольких гармоник, модель здания вводилась в колебательное движение по трем формам колебаний с различной последовательностью включения вибростанов (рис. 2). Полученные осциллограммы показали, что характер колебаний при этом изменяется незначительно, а амплитуды колебаний отличаются в пределах 2—5%.

ЕрПИ им. К. Маркса

Поступило 13 XI, 1974.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шапиро Г. А., Аниктадзе Г. Н., Самой Ю. А. Вибрационный метод испытания жилых и общественных зданий. М., 1969.
2. Аракелян С. Г., Захарян Ж. В. Об одной возможности испытания моделей зданий. «Известия АН АрмССР (серия техн. науки)», т. XXV, № 5, 1972.
3. Абовян Г. А., Аракелян С. Г., Захарян Ж. В. Некоторые результаты испытания модели здания при сложной динамической нагрузке. Межвузовский сборник научных трудов. Серия XII, вып. 1. Ереван, 1974.
4. Горожан Г. А., Хачиян Э. Е. К определению периодов и форм свободных колебаний многоэтажных каркасных зданий. «Известия АН АрмССР (серия техн. науки)», т. XXIII, № 5, 1970.
5. Хачиян Э. Е., Захарян Ж. В., Погосян О. К. Инструментальные наблюдения за колебаниями высотных зданий. Труды координационных совещаний по гидро-технике, вып. 91. Ленинград, 1974.