

УДК 699.84

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

С. С. Дарбинян

О параметрических колебаниях сооружений при землетрясениях

(Представлено академиком АН Армянской ССР А. Г. Назаровым 7/VI 1968)

При одновременном действии горизонтальных и вертикальных колебаний в основании сооружения не исключена возможность появления в нем параметрического возмущения, которое может оказать влияние на величины сейсмических сил. Здесь рассматривается этот вопрос в простейшей постановке этой задачи, то есть для системы с одной степенью свободы (рис. 1).

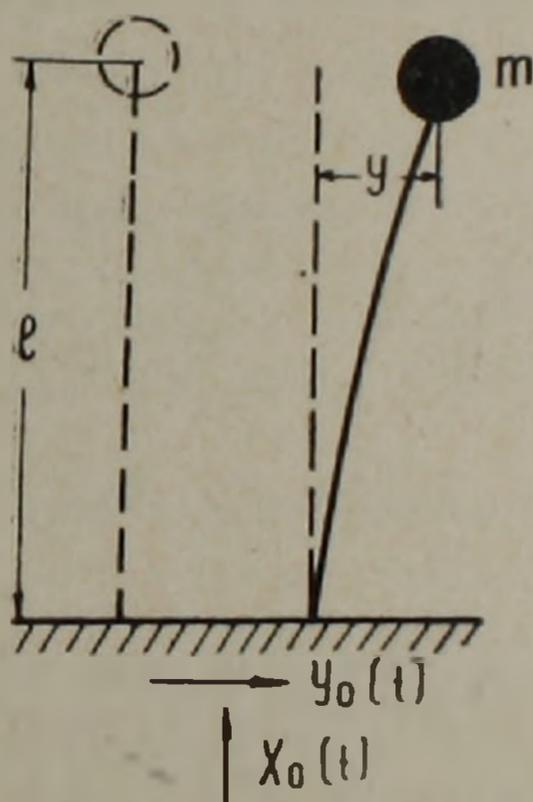


Рис. 1.

Если рассматриваемая система претерпевает лишь деформации сдвига в горизонтальном направлении, то дифференциальное уравнение движения запишется следующим образом:

$$m(y'' + y_0'') + \left[k - \frac{1}{l}(mx_0' + mg) \right] y = 0,$$

или

$$y'' + \omega^2 \left(1 - \frac{x_0' + g}{\omega^2 l} \right) y = -y_0''.$$

Учитывая также затухание по (1), получим

$$y'' + \omega z y' + \omega^2 \left(1 - \frac{x_0' + g}{\omega^2 l} \right) y = -y_0'', \quad (1)$$

где k — жесткость при сдвиге, $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ — частота собственных колебаний, $x_0^*(t)$ и $y_0^*(t)$ — законы колебания почвы в вертикальном и горизонтальном направлениях, y — относительное перемещение массы m в горизонтальном направлении, g — ускорение силы тяжести, α — коэффициент затухания.

Если в системе преобладают деформации изгиба, то уравнение движения с учетом вертикальной составляющей колебания почвы примет вид (2, 3):

$$m(y'' + \alpha y') + ry' + c\left(1 - \frac{mx_0^* + mg}{P_s}\right)y = 0, \quad (2)$$

где r — коэффициент трения, c — жесткость системы при изгибе, P_s — Эйлера сила.

Уравнение (2) можно преобразовать следующим образом:

$$y'' + \omega\alpha y' + \omega^2\left(1 - \frac{12}{\pi^2} \cdot \frac{x_0^* + g}{\omega^2 l}\right)y = -y_0^*. \quad (3)$$

Известно, что уравнение движения рассматриваемой системы, когда вертикальная составляющая не учитывается, имеет вид

$$y'' + \omega\alpha y' + \omega^2 y = -y_0^*. \quad (4)$$

Уравнения (1), (3) и (4) можно представить так:

$$y'' + \omega\alpha y' + \omega^2\left(1 - \gamma \frac{x_0^* + g}{\omega^2 l}\right)y = -y_0^*, \quad (5)$$

где $\gamma = 0; 1; \frac{12}{\pi^2}$ смотря какому виду деформации подвергается система.

Уравнение (5) содержит переменный коэффициент, поэтому интегрирование в точном виде не осуществимо. Интегрирование (5) еще затрудняется тем, что функции $x_0^*(t)$ и $y_0^*(t)$ не представляются аналитически, они задаются акселерограммами землетрясений.

Рассматриваемая задача была решена с помощью ЭВМ „Раздан-2“ методом Рунге-Кутты. Вычисления произведены для водонапорной башни (4) высотой 21,75 м с разными периодами свободных колебаний при $\alpha = 0,08$. В качестве внешнего воздействия приняты акселерограммы горизонтальной и вертикальной составляющих землетрясения интенсивностью 8 баллов (рис. 2) (5). Интенсивная часть акселерограммы вертикальных колебаний продолжительностью 15,06 сек, а горизонтальной составляющей продолжительностью 13,16 сек были табулированы при шаге 0,0204 сек. Следовательно, имели функции $x_0^*(t)$ и $y_0^*(t)$ в виде таблиц с 738 и 645 значениями соответственно. Программа вычислений была составлена таким образом, что имелась

возможность определить величины ускорений и перемещений в каждой точке таблицы, а также их максимальные значения (табл. 1).

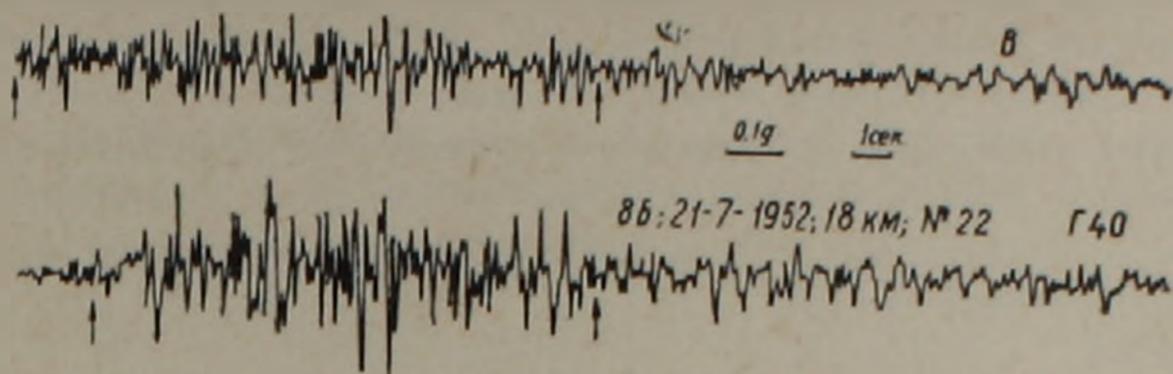


Рис. 2.

Таблица 1

Значения максимальных ускорений и перемещений

T	γ	$\tau_{\max}, \text{см/сек}^2$			$u_{\max}, \text{см}$		
		0	1	$12/\pi^2$	0	1	$12/\pi^2$
0,4		331,3	331,1	331,1	1,344	1,345	1,345
0,6		375,7	373,4	373,1	3,427	3,425	3,424
0,8		289,3	287,5	287,1	4,677	4,673	4,672
1,0		154,2	149,2	148,1	3,896	3,807	3,789
1,5		70,8	65,2	63,9	4,013	3,794	3,739

Анализ полученных результатов показывает, что параметрическое возбуждение, вызванное вертикальной составляющей, для рассматриваемой системы, мало влияет на величины максимальных перемещений и ускорений. Это влияние становится ощутимым только для больших значений периода собственных колебаний. Так, например,

для $T = \frac{2\pi}{\omega} = 1,5 \text{ сек}$ разность при $\gamma = 0$ и $\gamma = \frac{12}{\pi^2}$ доходит до 7—8%

в сторону уменьшения. Такое малое влияние в основном получается из-за большой высоты системы, если, например, уменьшить высоту в два раза при сохранении периода собственных колебаний, то влияние вертикальной составляющей дойдет до 15—20%.

Кроме того, имеют значение также соотношения интенсивностей вертикальной и горизонтальной составляющих. При изменении этого соотношения также может увеличиваться разница между случаями $\gamma = 0$ и $\gamma \neq 0$.

Институт геофизики и инженерной сейсмологии
Академии наук Армянской ССР

Ս. Ս. ԴԱՐՐԻՆՅԱՆ

Երկրաշարժերի ժամանակ կառուցվածքների պարամետրական տատանումների մասին

Հոդվածում ուսումնասիրվում է մեկ ազատության աստիճան ունեցող սխտեմի տատանումները երկրաշարժի ժամանակ դետեռմինիստական հորիզոնական և ուղղահայաց բաղադրիչների միաժամանակ ազդման դեպքում:

Առաջադրվող խնդիրը լուծվել է էլեկտրոնային հաշվիչ մեքենայի միջոցով, երբ արտաքին ազդող ուժերը ներկայացված են ակսելերոգրամի տեսքով: Հաշվումների արդյունքները ցույց են տալիս, որ ուղղահայաց բաղադրիչի ազդեցությունը մաքսիմում արագացումների և հորիզոնական ուղղությամբ տեղափոխումների վրա քիչ է: Այդ ազդեցությունը հասնում է զգալի տոկոսի միայն սիստեմի սեփական տատանման պարբերության մեծ արժեքների դեպքում:

Բայց կախված ուղղահայաց և հորիզոնական բաղադրիչների մեծությունների հարաբերությունից հնարավոր է սեյսմիկ ուժերի և տեղափոխումների զգալի փոփոխություն: Բացի այդ նման խնդիրների լուծումը կարող է ունենալ կարևոր նշանակություն մի քանի ազատության աստիճան ունեցող սիստեմների համար:

Л И Т Е Р А Т У Р А — Գ Ր Ա Վ Ա Ն Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

¹ А. Г. Назаров, Метод инженерного анализа сейсмических сил. Изд. АН АрмССР, Ереван, 1959. ² Я. Г. Пановко, Основы прикладной теории упругих колебаний. Машгиз, М., 1957. ³ Г. В. Бондаренко, Уравнение Хилла и его применение в области технических колебаний, Изд. АН СССР, М.—Л., 1936. ⁴ И. Л. Корчинский, Сейсмические нагрузки на здания и сооружения, М., 1959. ⁵ С. В. Медведев, Ускорения колебаний грунта при сильных землетрясениях, Труды ИФЗ АН СССР, № 10, вып. 3, 1960.