

О ДИНАМИЧЕСКОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ЗДАНИЯ С ЖЕСТКО СОЕДИНЕННЫМ КОНСОЛЬНЫМ СООРУЖЕНИЕМ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Хачиян Э.Е., Маркарян А.Г.

Է.Ե. Խաչիյան, Ա.Գ. Մարգարյան

Շենքի և երան կոշտ միացված կոնսոլային կառուցվածքի դինամիկական փոխազդեցության մասին
երկրաշարժային ազդեցության դեպքում

Հողվածը նվիրված է շահագործվող շենքի և երան միացված կառուցվածքի դինամիկական փոխազդեցության հետազոտմանը: Ստացված են համակցված համակարգի դինամիկական բնութագրերի և սեյսմիկ ազդեցությունների մակարդակի փոխվածան օրինաչափությունները շենքի և միացված կոնսոլվածքի ազատ առաստաղների պարբերությունների տարբեր հարաբերությունների դեպքում:

E.E. Khachian, A.G. Margarian

Dynamic interaction between building and rigidly attached cantilever structure

На практике при реконструкции и изменении функционального значения зданий нередко возникает необходимость связывать между собой отдельные здания или к существующим зданиям соединять новые пристройки. В частности, в работе [1] предлагается для повышения уровня сейсмической безопасности существующих каменных зданий соединить их жестко на уровне покрытия со специально проектируемой и возведенной вне здания пристройкой. Данная работа посвящена исследованию динамических характеристик таких сложных систем и их поведения при сейсмических воздействиях.

Расчетная схема всей системы в целом показана на фиг. 1, где принято, что основное многоэтажное здание 1 на уровне покрытия жестко соединено с отдельным сооружением в виде консольной стойки 2 той же высоты. Будем считать, что здание при динамических воздействиях подвергается обобщенной сдвиговой деформации с приведенными жесткостными и плотностными характеристиками $k'FG$ и q_1 [3,6], а консольное сооружение деформации изгиба с обычными жесткостными и плотностными характеристиками EI и q_2 .

1. Дифференциальные уравнения свободных колебаний комбинированной системы при свободных колебаниях соответственно будут

$$k'FG \frac{\partial^2 y_1(x,t)}{\partial x^2} - \frac{q_2}{g} \frac{\partial^2 y_1(x,t)}{\partial t^2} = 0, \quad EI \frac{\partial^4 y_2(x,t)}{\partial x^4} + \frac{q_2}{g} \frac{\partial^2 y_2(x,t)}{\partial t^2} = 0 \quad (1.1)$$

Решение системы уравнений (1.1) ищем в виде

$$y_1(x,t) = Y_1(x)\Phi(t), \quad y_2(x,t) = Y_2(x)\Phi(t) \quad (1.2)$$

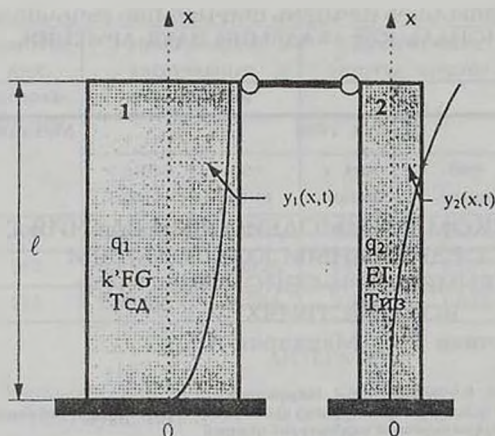
Подставляя (1.2) в (1.1) и разделяя переменные, получим следующие дифференциальные уравнения относительно $Y_1(x)$, $Y_2(x)$ и $\Phi(t)$:

$$Y_1'' + \lambda_1^2 Y_1 = 0, \quad Y_2'' - \lambda_2^2 Y_2 = 0, \quad \Phi'' + \omega^2 \Phi = 0 \quad (1.3)$$

где приняты обозначения:

$$\frac{q_1 \omega^2}{gk'FG} = \lambda_1^2, \quad \frac{q_2 \omega^2}{gEI} = \lambda_2^2, \quad \frac{EI}{k'FG} = \theta \quad (1.4)$$

а ω — искомая круговая частота свободных колебаний общей системы.



Фиг.1

Решение первых двух уравнений (1.3) ищем в виде

$$Y_1(x) = A \sin \lambda_1 x + B \cos \lambda_1 x$$

$$Y_2(x) = C_1 \sin \lambda_2 x + C_2 \cos \lambda_2 x + C_3 \operatorname{sh} \lambda_2 x + C_4 \operatorname{ch} \lambda_2 x \quad (1.5)$$

Для определения 6 коэффициентов A, B, C_1, C_2, C_3, C_4 и неизвестной круговой частоты ω будем исходить из следующих граничных условий:

$$x = 0, Y_1 = 0, B = 0$$

$$x = 0, Y_2 = 0, C_2 + C_4 = 0, C_4 = -C_2$$

$$x = 0, Y_2' = 0, C_1 + C_3 = 0, C_3 = -C_1$$

$$x = l, Y_1 = Y_2, A \sin \lambda_1 l = C_1 \sin \lambda_2 l + C_2 \cos \lambda_2 l + C_3 \operatorname{sh} \lambda_2 l + C_4 \operatorname{ch} \lambda_2 l$$

$$x = l, k'FGY_1' = EIY_2''' \quad (1.6)$$

$$k'FGA\lambda_1 \cos \lambda_1 l = EI\lambda_2^3 (-C_1 \sin \lambda_1 l + C_2 \cos \lambda_2 l + C_3 \operatorname{ch} \lambda_2 l + C_4 \operatorname{sh} \lambda_2 l)$$

$$x = l, Y_2'' = 0, -C_1 \sin \lambda_2 l - C_2 \cos \lambda_2 l + C_3 \operatorname{sh} \lambda_2 l + C_4 \operatorname{ch} \lambda_2 l = 0$$

из граничных условий (1.6) получим следующую систему однородных уравнений относительно коэффициентов A, C_1 и C_2 :

$$A \sin \lambda_1 l - C_1 (\sin \lambda_2 l - \operatorname{sh} \lambda_2 l) - C_2 (\cos \lambda_2 l - \operatorname{ch} \lambda_2 l) = 0$$

$$C_1 [\lambda_1 \operatorname{ctg} \lambda_1 l (\sin \lambda_2 l - \operatorname{sh} \lambda_2 l) + \theta \lambda_2^3 (\cos \lambda_2 l + \operatorname{ch} \lambda_2 l)] + \quad (1.7)$$

$$+ C_2 [\lambda_1 \operatorname{ctg} \lambda_1 l (\cos \lambda_2 l - \operatorname{ch} \lambda_2 l) - \theta \lambda_2^3 (\sin \lambda_2 l - \operatorname{sh} \lambda_2 l)] = 0$$

$$C_1 (\sin \lambda_2 l + \operatorname{sh} \lambda_2 l) + C_2 (\cos \lambda_2 l + \operatorname{ch} \lambda_2 l) = 0$$

Нетривиальное решение системы (1.7) получается при равенстве нулю ее главного детерминанта, в результате чего получим следующее уравнение частот:

$$\lambda_1 \cos \lambda_1 l (\sin \lambda_2 l / \operatorname{ch} \lambda_2 l - \cos \lambda_2 l / \operatorname{sh} \lambda_2 l) + \theta \lambda_2^3 \sin \lambda_1 l (1 + \cos \lambda_2 l / \operatorname{ch} \lambda_2 l) = 0 \quad (1.8)$$

Заметим, что из общего уравнения частот (1.8) получим уравнения частот для частных случаев: при $\theta \rightarrow 0$ ($EI = 0$) для чисто сдвиговых колебаний здания [4].

$$\cos \lambda_1 l = 0; \quad \lambda_{11} l = \frac{\pi}{2}; \quad \lambda_{12} l = \frac{3\pi}{2}; \quad \lambda_{13} l = \frac{5\pi}{2} \quad (1.9)$$

при $\theta \rightarrow 0$ ($kFG = 0$) для чисто изгибных колебаний стойки [5]

$$1 + \cos \lambda_2 l / \operatorname{ch} \lambda_2 l = 0$$

$$\lambda_{21} l = 1.875, \quad \lambda_{22} l = 4.694, \quad \lambda_{23} l = 7.855 \quad (1.10)$$

Из системы однородных уравнений для коэффициентов A, C_1, C_2 получим

$$C_2 = \frac{(\sin \lambda_2 l + \operatorname{sh} \lambda_2 l) \sin \lambda_1 l}{2(\cos \lambda_2 / \operatorname{sh} \lambda_2 l - \sin \lambda_1 l \cos \lambda_2 l)} A$$

$$C_1 = -\frac{\cos \lambda_2 l + \operatorname{ch} \lambda_2 l}{\sin \lambda_2 l + \operatorname{sh} \lambda_2 l} C_2 \quad (1.11)$$

Для вычисления корней характеристического уравнения (1.8) были приняты следующие соотношения, вытекающие из (1.4):

$$\frac{\lambda_1^2 g k' FG}{q_1} = \frac{\lambda_2^4 g EI}{q_2}, \quad \lambda_1 = \lambda_2^2 \sqrt{\frac{q_1 EI}{q_2 k' FG}} = \lambda_2^2 \sqrt{\frac{q_1}{q_2}} \theta \quad (1.12)$$

С другой стороны, обозначая периоды свободных колебаний здания через $T_{\text{сз}}$ и стойки через $T_{\text{нз}}$, для первой формы колебаний будем иметь [3]

$$T_{\text{сз}} = 4l \sqrt{\frac{q_1}{g k' FG}}, \quad T_{\text{нз}} = \frac{2\pi l^2}{(1.875)^2} \sqrt{\frac{q_2}{g EI}} \quad (1.13)$$

Из соотношений (1.4), (1.12) и (1.13) получим

$$\lambda_{11} = \frac{6.28 l}{14} \frac{T_{\text{сз}}}{T_{\text{нз}}} \lambda_{21}^2, \quad \theta_1 = 0.2 \frac{q_2}{q_1} l^2 \left(\frac{T_{\text{сз}}}{T_{\text{нз}}} \right)^2 \quad (1.14)$$

Путем прямого сопоставления экспериментальных значений периодов каменных [2], крупнопанельных и каркасных зданий [3] до 10 этажей, работающих по схеме эквивалентного сдвигового бруса, установлено, что приведенный погонный вес q_1 таких зданий от 4 до 7 раз уступает погонному весу q_2 сплошной железобетонной стойки (объемный вес железобетона 2.2 т/м^3). Поэтому при вычислении корней частотного уравнения (1.8) было принято (для каменных зданий и железобетонной стойки)

$$q_2 = 6q_1 \quad (1.15)$$

Учитывая соотношения (1.12)-(1.15), были вычислены корни частотного уравнения (1.8) и значения коэффициентов C_1 и C_2 (при $A = 1$) для различных значений отношения периода консольного сооружения $T_{\text{нз}}$ к периоду здания $T_{\text{сз}}$. Полученные результаты приведены в табл. 1. Период колебаний комбинированной системы соответственно определится $T_{\text{к}}$ по формулам

$$T_{\text{к}} = \frac{2\pi}{\lambda_{11}} \sqrt{\frac{q_1}{g k' FG}} \quad \text{или} \quad T_{\text{к}} = \frac{2\pi}{\lambda_{21}} \sqrt{\frac{q_2}{g EI}} \quad (1.16)$$

По данным табл. 1 на фиг. 2 построены зависимости $\lambda_{11} l$ и $\lambda_{21} l$ от $T_{\text{нз}}/T_{\text{сз}}$.

Как видно из данных табл. 1 и фигур, при отношениях $T_{\text{нз}}/T_{\text{сз}} \leq 0.3$ периоды колебаний комбинированной системы приближаются к периодам колебаний сдвигаемого здания, но с опертым

верхним концом. На самом деле, для сдвигаемого здания с нижним заземленным и верхним опертыми концами граничные условия будут

$$x=0 \quad Y_1=0 \quad B=0$$

$$x=l \quad Y_2=0 \quad A \sin \lambda_1 l = 0 \quad (1.17)$$

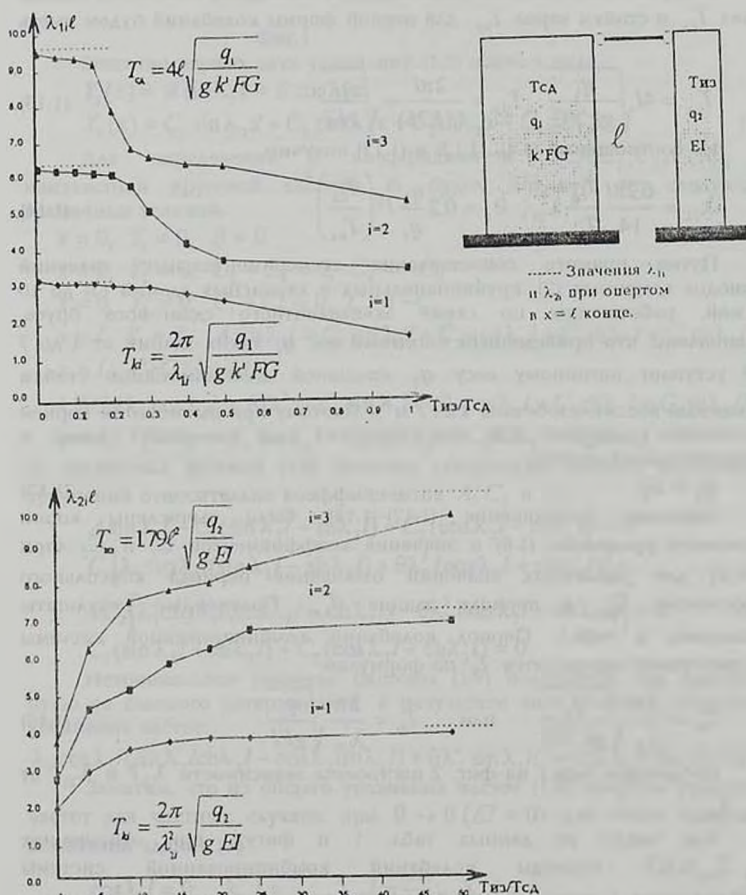
которые приводят к частотному уравнению с корнями

$$\sin \lambda_1 l = 0, \quad \lambda_{11} l = \pi, \quad \lambda_{12} l = 2\pi, \quad \lambda_{13} l = 3\pi \quad (1.18)$$

и, следовательно, период колебаний такого здания будет

$$T_{ca}^{on} = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi l}{i\pi} \sqrt{\frac{q_i}{gk'FG}} \quad (1.19)$$

Как видно из данных табл.1 и фиг.2, отклонение между значениями периодов T_{ki} по первой формуле (1.16) и по формуле (1.19) при $T_{из}/T_{ca} \leq 0.2$ составляет соответственно для первой второй и третьей форм свободных колебаний 1.2, 2.5 и 16.5 процентов. Для первой формы колебаний это отклонение при $T_{из}/T_{ca} \leq 0.3$ не превышает 3.5%.

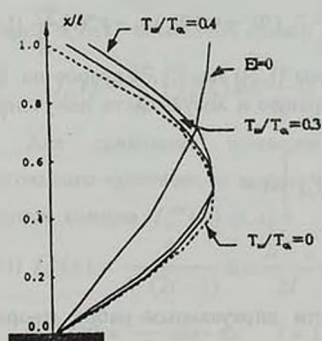


Фиг. 2

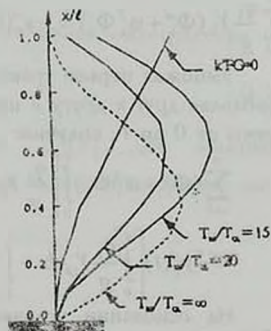
Таблица 1

$T_{\text{с}}, T_{\text{св}}$	1-ая форма колебани				2-ая форма колебани				3-ая форма колебани			
	$\lambda_{11}/$	$\lambda_{21}/$	C_{11}	C_{21}	$\lambda_{12}/$	$\lambda_{22}/$	C_{12}	C_{22}	$\lambda_{13}/$	$\lambda_{23}/$	C_{13}	C_{23}
0 ($EI = \infty$)	3.141				6.282				9.423			
0.05	3.14	0.592	0.015	-0.009	6.277	0.837	-0.011	0.009	9.432	1.206	0.011	-0.001
0.10	3.131	0.836	0.023	-0.019	6.269	1.183	-0.020	0.022	9.393	1.448	0.023	-0.030
0.15	3.125	1.023	0.031	-0.031	6.227	1.444	-0.035	0.045	9.199	1.755	0.035	-0.129
0.20	3.103	1.177	0.04	-0.045	6.120	1.653	-0.075	0.100	7.866	1.874	0.367	-0.129
0.25	3.075	1.310	0.052	-0.062	5.754	1.792	-0.199	0.271	6.849	1.955	0.184	-0.500
0.30	3.032	1.425	0.069	-0.087	5.111	1.850	-0.345	0.470	6.560	2.096	0.086	-0.250
0.40	2.881	1.604	0.125	-0.166	4.150	1.925	-0.299	0.407	6.445	2.399	0.047	-0.116
1.00	1.575	1.875	0.367	-0.500	3.365	2.741	-0.073	0.087	6.323	3.757	0.061	-0.060
	(1.575)	(1.875)			(4.725)	(4.694)			(7.875)	(7.855)		
5.00	0.745	2.883	0.248	-0.284	1.883	4.580	-0.552	0.542	3.456	6.211	0.143	-0.062
10.0	0.565	3.550	0.488	-0.503	1.172	5.115	-0.352	0.346	2.502	7.474	0.537	-0.147
15.0	0.422	3.761	0.850	-0.858	0.990	5.759	-0.307	0.304	1.781	7.723	0.568	-0.537
20.0	0.329	3.836	1.225	-1.231	0.879	6.266	-0.379	0.372	1.435	8.003	0.435	-0.568
50.0	0.137	3.912	3.383	-3.383	0.435	6.973	-1.569	1.569	0.859	9.797	0.667	-0.435
∞ ($kEG = \infty$)		3.927				7.068				10.21		-0.667

Таким образом, если период свободных колебаний консольного сооружения в 4-5 раз меньше периода свободных колебаний здания, то консольное сооружение, жестко соединенное со зданием, играет роль опоры для него. Это обстоятельство явно видно также из фиг. 3, где показаны формы колебаний здания без консольного сооружения и при его наличии.



$$Y_{11}(x) = A \sin \lambda_{11} x$$



$$Y_{21}(x) = C_{11}(\sin \lambda_{11} x - \text{sh} \lambda_{21} x) + C_{21}(\cos \lambda_{11} x - \text{ch} \lambda_{21} x)$$

Фиг. 3

Аналогичным образом данные табл.1 показывают, что при $T_{нз} T_{сз} \geq 15$ период колебаний общей системы, наоборот, приближается, но менее интенсивнее, к периоду колебаний изгибаемой стойки, но с опертым верхним концом.

Действительно, для такой стойки граничные условия будут

$$\begin{aligned} x=0 \quad Y_2=0 \quad Y_2' &= 0 \\ x=l \quad Y_2=0 \quad Y_2'' &= 0 \end{aligned} \quad (1.20)$$

которые приводят к известному частотному уравнению

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \lambda_2 l - \operatorname{th} \lambda_2 l &= 0 \quad \text{с корнями [5]} \\ \lambda_{21} l &= 3.926, \quad \lambda_{22} l = 7.068, \quad \lambda_{23} l = 10.210 \end{aligned} \quad (1.21)$$

Заметим одно очень важное с практической точки зрения обстоятельство: для того, чтобы изгибаемая стойка играла роль неподвижной опоры для сдвигаемого здания, значение ее периода должно быть в 4 раза меньше, чем значение периода самого здания, а при изменении их ролей, т.е. для того, чтобы сдвигаемое здание служило бы неподвижной опорой для изгибаемой стойки, значение ее периода должно быть в 20 и более раза меньше, чем значение периода самой стойки.

2. Уравнения вынужденных колебаний комбинированной системы при сейсмических воздействиях будут:

$$k'FG \frac{\partial^2 y_1}{\partial x^2} - \frac{q_1}{g} \frac{\partial^2 y_1}{\partial t^2} = -\frac{q_1}{g} \frac{\partial^2 y_0}{\partial t^2}, \quad EI \frac{\partial^4 y_2}{\partial x^4} + \frac{q_2}{g} \frac{\partial^2 y_2}{\partial t^2} = -\frac{q_2}{g} \frac{\partial^2 y_0}{\partial t^2} \quad (1.22)$$

где $y_0''(t)$ — ускорение колебания грунта (акселерограмма землетрясения). Решение уравнений (1.22) ищем в виде

$$y_1(x, t) = \sum_{i=1}^{\infty} Y_{1i}(x) \Phi_i(t), \quad y_2(x, t) = \sum_{i=1}^{\infty} Y_{2i}(x) \Phi_i(t) \quad (1.23)$$

где $Y_{1i}(x)$ и $Y_{2i}(x)$ удовлетворяют уравнениям (1.3). Подставляя (1.23) в (1.22) и учитывая (1.3) и (1.4), получим

$$\sum_{i=1}^{\infty} \frac{q_1}{g} Y_{1i} (\Phi_i'' + \omega_i^2 \Phi_i) = -y_0''(t) \frac{q_1}{g}, \quad \sum_{i=1}^{\infty} \frac{q_2}{g} Y_{2i} (\Phi_i'' + \omega_i^2 \Phi_i) = -y_0''(t) \frac{q_2}{g} \quad (1.24)$$

Умножая первое уравнение системы (1.24) на Y_{1k} , а второе на Y_{2k} , прибавляя друг к другу и интегрируя правую и левую части полученной суммы от 0 до l , получим:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{\infty} (\Phi_i'' + \omega_i^2 \Phi_i) \int_0^l \left[\frac{q_1}{g} Y_{1i} Y_{1k} + \frac{q_2}{g} Y_{2i} Y_{2k} \right] dx = \\ = -y_0''(t) \left[\int_0^l \frac{q_1}{g} Y_{1k} dx + \int_0^l \frac{q_2}{g} Y_{2k} dx \right] \end{aligned} \quad (1.25)$$

На основании условия взаимности виртуальных работ (теорема Бетти) легко доказать, что

$$\int_0^l \frac{q_1}{g} Y_{1i} Y_{1k} dx + \int_0^l \frac{q_2}{g} Y_{2i} Y_{2k} dx = 0 \quad \text{при } i \neq k = 1, 2, \dots \quad (1.26)$$

Равенство (1.26), которое фактически является условием ортогональности собственных функций комбинированной системы, легко доказать на основании граничных условий (1.6). В силу (1.26) из (1.25) получим

$$\Phi_k''(t) + \omega_k^2 \Phi_k(t) = -y_0''(t) W_k$$

$$W_k = \frac{\int_0^l q_1 Y_{1k} dx + \int_0^l q_2 Y_{2k} dx}{\int_0^l q_1 Y_{1k}^2 dx + \int_0^l q_2 Y_{2k}^2 dx} \quad (1.27)$$

Решение уравнения (1.27) будет:

$$\Phi_k(t) = -\frac{W_k}{\omega_k} \int_0^t y_0''(\xi) \sin \omega_k (t - \xi) d\xi \quad (1.28)$$

Таким образом, перемещения сдвигаемого здания и изгибаемой стойки при землетрясении с акселерограммой $y_0''(t)$ будут

$$\begin{aligned} y_1(x, t) &= \sum_{i=1}^{\infty} \eta_{1i}(x) \frac{1}{\omega_{1i}} \int_0^t y_0''(\xi) \sin \omega_{1i} (t - \xi) d\xi \\ y_2(x, t) &= \sum_{i=1}^{\infty} \eta_{2i}(x) \frac{1}{\omega_{2i}} \int_0^t y_0''(\xi) \sin \omega_{2i} (t - \xi) d\xi \end{aligned} \quad (1.29)$$

где

$$\eta_{1i}(x) = W_k Y_{1i}(x), \quad \eta_{2i}(x) = W_k Y_{2i}(x) \quad (1.30)$$

Поперечная сила для здания будет

$$Q_1(x, t) = k'FG \frac{\partial y_1(x, t)}{\partial x} \quad (1.31)$$

которая после ряда преобразований получит следующий окончательный вид:

$$Q_1(x, t) = \frac{q_1 l}{g} \sum_{i=1}^{\infty} f_{1i}(x) \tau(T_i, t) \quad (1.32)$$

где

$$f_{1i}(x) = \frac{W_1}{\lambda_{1i} l} \cos \lambda_{1i} \frac{x}{l} \quad (1.33)$$

а через $\tau(T_i, t)$ обозначен спектр реакции (ускорения) землетрясения

$$\tau(T_i, t) = \frac{2\pi}{T_i} \int_0^t y_0''(\xi) \sin \frac{2\pi}{T_i} (t - \xi) d\xi \quad (1.34)$$

Для сравнения приведем значения $f_{1i}(x)$ для обычного консольного сдвигаемого здания $f_{1i}^k(x)$ и для сдвигаемого здания, но с опертым концом $f_{1i}^{on}(x)$ [1, 4]:

$$\begin{aligned} f_{1i}^k(x) &= \frac{8}{\pi^2 (2i-1)} \cos \frac{2i-1}{2l} \pi x \\ f_{1i}^{on}(x) &= \frac{4}{\pi^2 i} \cos \frac{i}{l} \pi x \quad i = 1, 2, 3, \dots \end{aligned} \quad (1.35)$$

В табл.2 для сравнения приведены значения $f_{1i}(x)$, $f_{1i}^k(x)$, $f_{1i}^{on}(x)$ по первой форме колебания при $T_{из}/T_{сн} = 0,2, 0,15$

Данные табл.2 тоже подтверждают, что при $T_{из}/T_{сн} \leq 0,2$, $(\theta = EI/kFG \geq 30l^2)$ в комбинированной системе здание работает как брус с верхним опертым концом, что для 4-5 этажных каменных зданий с периодами 0.22-0.27 сек. приведет к понижению уровня сейсмических инерционных сил более чем в 2.5 раза [1] из-за двукратного

уменьшения ординат форм колебания [табл.2] и в 1.35-разового уменьшения величины спектра реакции $\tau_{\max}(T)$ комбинированной системы по сравнению с той же величиной первоначальной системы [7].

Таблица 2

x/l	f_{11}^k	f_{11}^{on}	$T_{u2}/T_{cA} = 0.2$ f_{11}	$T_{u2}/T_{cA} = 0.15$ f_{11}
0	0.8106	0.4053	0.4660	0.4367
0.1	0.8006	0.3854	0.4436	0.4155
0.2	0.7709	0.3279	0.3788	0.3539
0.3	0.7222	0.2382	0.2777	0.2580
0.4	0.6557	0.1253	0.1501	0.1369
0.5	0.5732	0	0.0080	0.002
0.6	0.4764	-0.1253	-0.1348	-0.1319
0.7	0.3680	-0.2382	-0.2647	-0.2537
0.8	0.2505	-0.3279	-0.3693	-0.3509
0.9	0.1268	-0.385	-0.4385	-0.4139
1.0	0	-0.4053	-0.4657	-0.4367

Авторы выражают свою искреннюю благодарность академику С.А. Амбарцумяну за внимание и интерес к данной статье.

ЛИТЕРАТУРА

1. Khachian E. The method of increasing the level of seismic safety of existing buildings. – American University of Armenia, Manuscript, Yerevan, 1995.
2. Карапетян Б.К. Колебания сооружений, возведенных в Армении. – Ереван: Изд. "Айастан", 1967. 172с.
3. Хачиян Э.Е. Сейсмические воздействия на высотные здания и сооружения. – Ереван: Изд. "Айастан", 1973. 327 с.
4. Хачиян Э.Е. Некоторые прикладные задачи теории сейсмостойкости сооружений. – Ереван: АИСМ, 1963. 127с.
5. Бабаков И.М. Теория колебаний. – М.: Гостехиздат, 1958. 627с.
6. Ньюмарк Н., Розенблует Э. Основы сейсмостойкого строительства. – М.: Стройиздат, 1980. 344с.
7. Հ.Հ. Շինարարական նորմեր, Սեյսմական շինարարություն. Շախազման նորմեր, ՀՀՇՆ, II-2.02-94, Երևան, 1995, 37 էջ:

Армянский НИИ сейсмостойкого строительства
Ереванский
Архитектурно-строительный институт

Поступила в редакцию
30.05.1996