

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

С. С. ДАРВИՅԱՆ, С. Օ. ԽԱՇԱՏՅԱՆ

К РАСЧЕТУ ЗДАНИЙ ПРИ ВОЛНОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Рассматриваются колебания системы с конечным числом степеней свободы в виде невесомого стержня с сосредоточенными массами по высоте и заделанным нижним концом с учетом распространения в ней поперечной сейсмической волны.

Следуя Ш. Г. Напетваридзе, волновое уравнение колебания здания запишем следующим образом [1]:

$$\frac{\partial^2 U^*(x, t)}{\partial t^2} - V_s^2 \frac{\partial^2 U^*(x, t)}{\partial x^2} = 0.$$

Даламберово решение которого имеет вид:

$$U^*(x, t) = \varphi^*\left(t - \frac{x}{V_s}\right) + \psi^*\left(t + \frac{x}{V_s}\right). \quad (1)$$

Известно, что выражения для определения коэффициентов преломления и отражения при условии $\gamma_{k+1}^* < 1$ имеют вид:

$$a_{k, k+1} = \frac{2}{1 + \gamma_{k+1}^*}; \quad a_{k+1, k} = \frac{2\gamma_{k+1}^*}{1 + \gamma_{k+1}^*}, \quad (2)$$

где

$$\gamma_{k+1, k}^* = \frac{\gamma_{k+1}^*}{\gamma_k^*} \cdot \frac{V_{k+1}}{V_k}; \quad (3)$$

γ_{k-1}^* и γ_k^* — объемный вес материала k -го и $k+1$ -го этажа здания.

Во время локального повреждения, энергия разрушения конструктивного элемента одного этажа передается на другой. Тогда конструкция этажа, в пределах которого произошло разрушение, разгружается и дальнейшая работа конструкции с трещинами приводит к повышению поглощения энергии.

Согласно [1] для конкретного этажа здания скорость распространения поперечной волны запишется так:

$$V_{k+1}^* = 2\pi \frac{h_{k+1}}{T_{k+1}^*}.$$

Пусть жесткость r_{k+1} получает отрицательное приращение, тогда

$$V_{k+1}^* - \Delta V_{k+1}^* = h_{k+1} [\omega_{k+1}^{*0} - (\Delta \omega_{k+1}^*)^2]^{\frac{1}{2}}, \quad (4)$$

где $\Delta \omega_{k+1}^* = \sqrt{\frac{\Delta r_{k+1}}{M_{k+1}}}$ — приращение квадрата относительно частоты для $k+1$ -го этажа; T_{k+1}^* , ω_{k+1}^* — период и частота собственных колебаний этажа до повреждения конструкции.

Разложив в ряд квадратный корень и отбросив малые члены высшего порядка, после некоторых преобразований получим:

$$V_{k+1}^{**} = V_{k+1}^* - \Delta V_{k+1}^* = V_{k+1}^* \left(1 - \frac{\Delta r_{k+1}}{r_{k+1}}\right)^{\frac{1}{2}} \approx V_{k+1}^* \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta r_{k+1}}{r_{k+1}}\right). \quad (5)$$

Тогда выражение (3) примет вид:

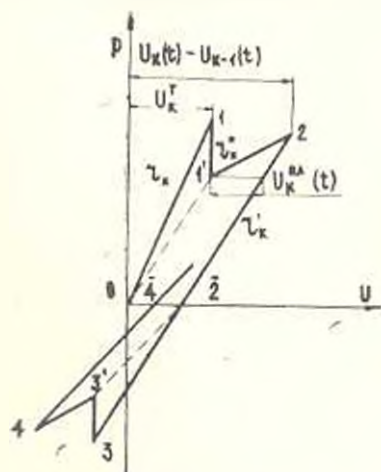
$$\gamma_{k+1}^{**} = \frac{\gamma_{k+1}^*}{\gamma_k^*} \cdot \frac{V_{k+1}^*}{V_k^*} \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta r_{k+1}}{r_{k+1}}\right)$$

или

$$\gamma_{k+1}^{**} = \frac{\gamma_{k+1}^*}{\gamma_k^*} \cdot \frac{V_{k+1}^*}{V_k^*} \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta \omega_{k+1}^*}{\omega_{k+1}^*}\right)^2\right]. \quad (6)$$

Таким образом, для учета локального повреждения в пределах $k+1$ -го этажа необходимо принять вместо $\gamma_{k+1,k}^*$ величину $\gamma_{k+1,k}^{**}$ по формуле (6).

Отметим, что в момент локального разрушения сосредоточенные массы системы получают дополнительную скорость и ускорение, которые легко определить [2].



Расчетная диаграмма "Восстанавливающая сила-перемещение".

В упругой стадии работы (рис.) уравнение движения K -го этажа запишется следующим образом:

$$M_k \ddot{U}_k(t) + r_k [U_k(t) - U_{k-1}(t)] - r_{k+1} [U_{k+1}(t) - U_k(t)] = 0. \quad (7)$$

После мгновенного уменьшения жесткости уравнение (7) примет вид:

$$M_k \ddot{U}_k(t) + (r_k - \Delta r_k)[U_k(t) - U_{k-1}(t)] - r_{k+1}[U_{k+1}(t) - U_k(t)] = 0. \quad (8)$$

На основании (7) и (8) можем получить значение приращения ускорения:

$$\Delta \ddot{U}_k(t) = \ddot{U}_k(t) - \ddot{U}_k(t) = (\Delta \omega_k^*)^2 [U_k(t) - U_{k-1}(t)], \quad (9)$$

где $\Delta \ddot{U}_k(t)$ — отрицательное приращение ускорения

$\Delta \ddot{U}_k(t)$ вполне определяется правой частью (9) так, как и $U_k(t)$ и $U_{k-1}(t)$ известны из решения волнового уравнения:

$$U_k(t) = \left\{ \prod_{j=0}^{k-1} (a_{j,j+1}) + 2 \left| \prod_{j=1}^{k-1} (a_{j-1,j}) \right| \left| \prod_{j=0}^{k+1} (a_{j,j+1}) \right| \right\} \times \\ \times \frac{\omega_0 U_0^*(z)}{1 + r_1/r_0} \sin \frac{\omega_0 z}{c},$$

где $z = t - \sum \frac{h_j}{V_j}$ — время прохождения волны по высоте здания;

V_j — скорость распространения волны по j -ом этаже; $U_0^*(z)$ — ускорение колебания почвы; r_0, r_1 — жесткости грунтового слоя и первого этажа здания.

Так, например, при гармонической волне на основании (1) получим:

$$U(t, x) = -A\omega^2 \sin \omega \left(t - \frac{x}{V_s} \right) + B\omega^2 \cos \left(t - \frac{x}{V_s} \right).$$

Нетрудно таким образом определить полное ускорение и сейсмическую силу на любом уровне:

$$\ddot{U}_i^*(t) = \ddot{U}_i(t) + \Delta \ddot{U}_i(t); \quad S_i^*(t) = S_i(t) + \Delta S_i(t).$$

Скорость распространения волны после локального повреждения определяется следующим образом:

$$V_{s,k}^* = \omega_k h_k.$$

В качестве примера рассмотрим колебания 9-этажного рамно-каркасного здания со стеновыми заполнениями из легкого бетона. Расчет произведен по СНиП, по методу стоячих волн (скорость распространения сейсмических волн в здании равна бесконечности) и при конечной скорости распространения сейсмических волн с учетом образования повреждений. В качестве внешнего воздействия приняты акселеро-

граммы разных землетрясений. Результаты вычислений для одного землетрясения, полученные на ЭВМ, приведены в табл.

Таблица

Значения сейсмических и поперечных сил в тс

Этаж	По СНиП		По методу стоячих волн		С учетом конечной скорости распространения сейсмических волн			
					без учета повреждений		с учетом повреждений	
	S_k	Q_k	S_k	Q_k	S_k	Q_k	S_k	Q_k
1	8	130	39	303	98	10	93	37
2	16	122	38	291	215	83	138	68
3	21	106	46	282	234	135	171	88
4	22	85	52	266	178	100	172	107
5	20	63	48	242	171	103	187	116
6	16	43	46	210	161	108	183	107
7	11	28	51	169	161	53	140	80
8	9	17	57	119	256	157	154	107
9	8	8	62	62	150	150	70	70

Анализ результатов вычислений показывают, что величины сейсмических нагрузок зависят от конструкции здания, грунтовых условий и сейсмического воздействия. Поэтому расчет зданий необходимо производить на воздействие возможных для данного участка акселерограмм и из них выбрать неблагоприятный для данной конструкции. В зависимости от этих факторов нагрузки могут увеличиваться или уменьшаться.

Из табл. видно, что поперечные силы при учете конечной скорости распространения сейсмических волн на отдельных уровнях резко уменьшаются по сравнению с их величинами при расчете по обычным методам. Учет конечной скорости распространения волны приводит к тому, что время действия импульса ускорения в одном направлении увеличивается, из-за чего сейсмические силы увеличиваются. С другой стороны из-за разности фаз проходящих и отраженных волн в итоге для рассматриваемого случая поперечные силы уменьшаются. Во время сейсмического воздействия при учете повреждений период колебаний рассматриваемого здания изменился от 0,89 с до 2,37 с, что является результатом изменения жесткости, которое приводит, в свою очередь, к уменьшению сейсмических нагрузок.

ИГИС АН АрмССР

Поступило 15. X. 1979

ЛИТЕРАТУРА

1. *Напетваридзе Ш. Г.* Некоторые задачи инженерной сейсмологии. Тбилиси. «Мецниერба», 1965.
2. *Хачатрян С. О.* Влияние локального повреждения здания на величину сейсмической нагрузки. «Реферативная информация», сер. XIV, вып. 9, ЦНИИС, 1977.