

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

Б. Е. ДЕНИСОВ, В. М. ДОРОФЕЕВ, О. К. ПОГОСЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
 СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО ДАННЫМ  
 ИНЖЕНЕРНО-СЕЙСМОМЕТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Известно, что достаточно жесткие с небольшим количеством этажей здания часто могут быть представлены динамическими моделями упругих одномассовых осцилляторов, уравнение движения которых имеет вид [1]:

$$\ddot{y}(t) + 2\varepsilon\omega\dot{y}(t) + \omega^2 y(t) = -x(t), \quad (1)$$

где  $\omega$  — частота осциллятора, а  $\varepsilon$  — коэффициент затухания в долях от критического. Если имеются синфазные во времени записи, характеризующие динамическое поведение основания здания и его покрытия в виде одного из трех кинематических параметров (смещения, скорости, ускорения), то для любого произвольного момента времени должно быть справедливо равенство

$$\ddot{y}(t_i) + 2\varepsilon\omega\dot{y}(t_i) + \omega^2 y(t_i) = -x(t_i). \quad (2)$$

Здесь  $y(t_i)$ ,  $\dot{y}(t_i)$ ,  $\ddot{y}(t_i)$  — экспериментальные значения, соответственно, ускорения, скорости и смещения покрытия в момент времени  $t_i$  или вычисленные с помощью ЭВМ по одному из них, полученному экспериментально:  $x(t_i)$  — значение ускорения основания в момент времени  $t_i$ .

Возьмем два произвольных момента времени  $t_1$  и  $t_2$ , для которых имеются соответствующие величины  $y(t_1) = y_1$ ,  $y(t_2) = y_2$ ,  $\dot{y}(t_1) = \dot{y}_1$ ,  $\dot{y}(t_2) = \dot{y}_2$ ,  $\ddot{y}(t_1) = \ddot{y}_1$ ,  $\ddot{y}(t_2) = \ddot{y}_2$ ,  $x(t_1) = x_1$ ,  $x(t_2) = x_2$ . Для каждого из этих моментов времени можно записать равенства, аналогичные (2):

$$\ddot{y}_1 + 2\varepsilon\omega\dot{y}_1 + \omega^2 y_1 = -x_1; \quad \ddot{y}_2 + 2\varepsilon\omega\dot{y}_2 + \omega^2 y_2 = -x_2. \quad (3)$$

Если рассматривать их как уравнения относительно неизвестных  $r = 2\varepsilon\omega$  и  $q = \omega^2$ , то совместное их решение позволяет определить динамические параметры  $r$  и  $q$ . Решение системы (3) имеет вид:

$$r = \frac{y_1(\ddot{x}_2 + \ddot{y}_2) - y_2(\ddot{x}_1 + \ddot{y}_1)}{y_1\dot{y}_2 - y_2\dot{y}_1}; \quad q = \frac{y_2(\ddot{x}_1 + \ddot{y}_1) - y_1(\ddot{x}_2 + \ddot{y}_2)}{y_1\dot{y}_2 - y_2\dot{y}_1}.$$

Вводя обозначения

$$P_1 = y_1(\ddot{x}_2 + y_2) - y_2(\ddot{x}_1 + y_1), \quad P_2 = y_2(\ddot{x}_2 + y_1) - y_1(\ddot{x}_2 + y_2), \\ P_3 = y_1 y_2 - y_2 y_1,$$

для динамических параметров системы получаем;

$$2\epsilon\omega = \frac{P_1}{P_3}; \quad \omega^2 = \frac{P_2}{P_3}. \quad (4)$$

Учитывая, что экспериментальные величины, которые используются для определения  $\omega$  и  $\epsilon$ , обладают определенным разбросом, т. е. имеем  $y \pm \delta y$ ,  $\dot{y} \pm \delta \dot{y}$ ,  $\ddot{y} \pm \delta \ddot{y}$ ,  $x \pm \delta x$ , выражение (4) принимает вид:

$$\min \frac{P_1}{P_3} \leq 2\epsilon\omega \leq \max \frac{P_1}{P_3}; \quad \min \frac{P_2}{P_3} \leq \omega^2 \leq \max \frac{P_2}{P_3}$$

или

$$\sqrt{\min \frac{P_2}{P_3}} \leq \omega \leq \sqrt{\max \frac{P_2}{P_3}}, \\ \frac{\min \frac{P_1}{P_3}}{2\sqrt{\max \frac{P_2}{P_3}}} \leq \epsilon \leq \frac{\max \frac{P_1}{P_3}}{2\sqrt{\min \frac{P_2}{P_3}}}.$$

В соответствии с приведенными выражениями были просчитаны интервалы для собственных периодов сооружений и коэффициентов затухания. На рис. 1 представлены гистограммы для собственных периодов системы и коэффициентов затухания для регистрации станций ИСС г. Еревана землетрясения 25.02.1978 г. Здание, на котором установлена станция ИСС, представляет собой шестизэтажное каменное жилое здание, имеющее три продольные несущие стены.

Построение гистограмм производилось для двух случаев ошибок определения и вычисления величин ускорений, скоростей и смещений. Как видно из рисунков, разрешающая способность в определении динамических коэффициентов слабо зависит от ошибок в рассматриваемом диапазоне.

Выбор конкретного значения периода собственных колебаний и отождествление его с периодом колебания сооружения в общем случае неоднозначный. Можно выбирать период собственных колебаний, соответствующий максимальной вероятности для моментов времени, относящихся к наиболее интенсивному движению, в этом случае такой период будет хорошо описывать работу сооружения при интенсивных воздействиях.

Выбор значений периодов собственных колебаний сооружения осуществляется из гистограмм, подобных изображенным на рис. 1, и для

выбранных таким образом величин строятся соответствующие им гистограммы величин  $\varepsilon$  с использованием формул перехода

$$T_0 \frac{E^{\min}}{T^{\min}} \leq \varepsilon \leq T_0 \frac{E^{\max}}{T^{\max}},$$

где  $T_0$  — период собственных колебаний осциллятора, определенный из описанных выше гистограмм;  $E^{\min}$ ,  $E^{\max}$  и  $T^{\min}$ ,  $T^{\max}$  — пределы для  $\varepsilon$  и  $T$ , полученные в начальном периоде вычислений.

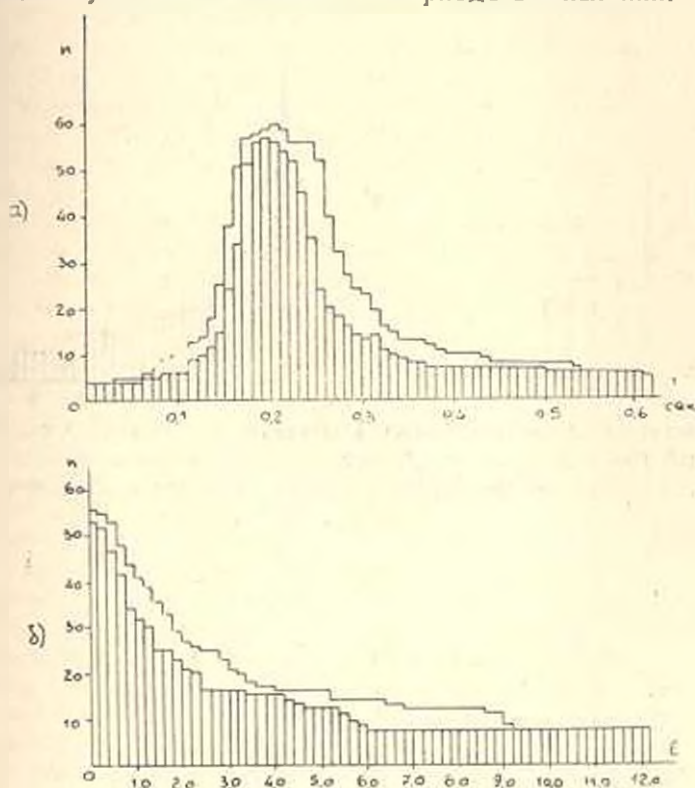


Рис. 1. Гистограммы для собственного периода системы (а) и коэффициента затухания (б). Нижние гистограммы соответствуют погрешностям в определении ускорений, скоростей и смещений, соответственно, равным 15%, 10%, 5%, а верхние — 10%, 7% и 5%.

Результат описанной процедуры изображен на рис. 2. Расчет производился по гистограмме рис. 1 для  $T_0 = 0,2$  с и ошибок определения ускорения, скорости и смещения, равных 10%, 7% и 5%.

Построение гистограмм осуществлялось для различных совокупностей моментов времени, охватывающих весь период записи, которые выбирались в зависимости от уровня сейсмического воздействия. Акселерограмма исходного воздействия подразделялась на интервалы по уровню воздействия и для построения гистограмм образовывались совокупности моментов времени, в которых воздействия были заключены внутри выбранных интервалов интенсивности. На рис. 3 представлены

графики зависимости периода собственных колебаний и коэффициента затухания от интенсивности сейсмического воздействия в основании сооружения станции ИСС во время землетрясения 25.02.1978 г. Как видно из рассмотрения графиков, эффективный период собственных колебаний здания монотонно возрастает даже при сравнительно слабых сейсмических воздействиях, причем возрастание периода незначительно при изменениях интенсивности воздействия слабого уровня (20—40  $\text{мм/с}^2$ ) и ослабевает при повышении уровня интенсивности (60—80  $\text{мм/с}^2$ ).

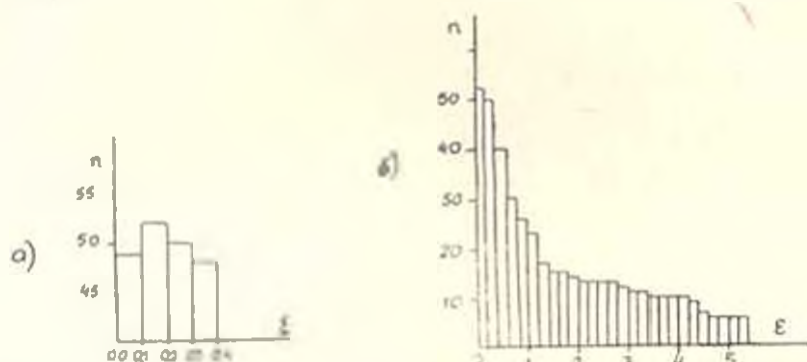


Рис. 2. Гистограммы для коэффициента затухания  $z$ , полученные для периода собственных колебаний системы  $T_0 = 0.2$  с: а) для интервала значений  $z$  от 0 до 0.4, б) с интервалом 0.2 для всего диапазона изменений  $z$ .

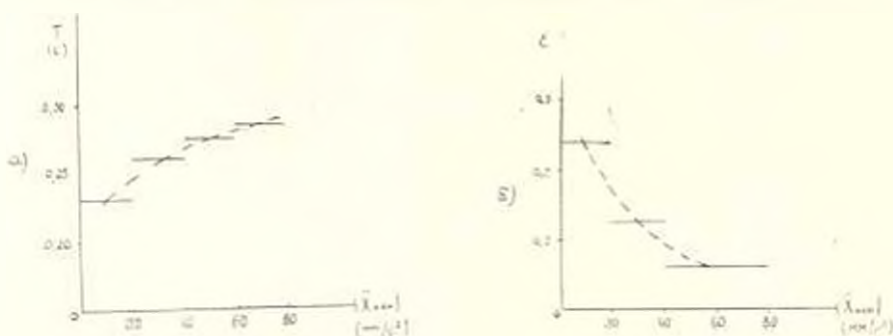


Рис. 3. Графики зависимости эффективного периода колебаний  $T$  (а) и ее коэффициента затухания  $z$  (б) от интенсивности сейсмического воздействия.

Аналогичные рассуждения справедливы и для эффективного коэффициента затухания, выраженного в долях от критического, с той лишь разницей, что зависимость  $z(x_{max})$  носит характер монотонного убывания, а изменение самой величины  $z$  более значительно. Экстраполяция последних графиков рис. 3 позволяет сделать предположение о том, что приведенные зависимости имеют, по видимому, экспоненциальный характер.

АрхИИКСА

17. VII 1982

# Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Поляков С. В. Сейсмостойкие конструкции зданий — М. Высшая школа, 1969 — 333 с.