

С. О. ХАЧАТРИАН, Г. К. МАРТИКЯН

ПРАКТИЧЕСКИЙ МЕТОД ПРИМЕНЕНИЯ ВОЛНОВОЙ ТЕОРИИ
В ЗАДАЧАХ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ

Предлагается практический метод расчета зданий на сейсмостойкость с учетом волновых процессов с использованием акселерограмм прошлых землетрясений. При этом определяются смещения на разных уровнях здания, модель которого представляется в виде консольного дискретного стержня, с применением волновой теории.

Рассмотрим распространение поперечных сейсмических волн со скоростью v вдоль оси x , перпендикулярной поверхности земли. Волновые уравнения для однородной структуры представляется в следующем виде:

$$\frac{\partial^2 U(x, t)}{\partial t^2} = v^2 \frac{\partial^2 U(x, t)}{\partial x^2}, \quad (1)$$

а их решение — в виде [1]:

$$U(x, t) = \bar{P}\left(t - \frac{x}{v}\right) + \Psi\left(t + \frac{x}{v}\right),$$

где $\bar{P}\left(t - \frac{x}{v}\right)$ соответствует волне, идущей вдоль положительного направления оси ox , а $\Psi\left(t + \frac{x}{v}\right)$ — в противоположном направлении.

Для решения задачи необходимо установить параметры волны $\bar{P}\left(t - \frac{x}{v}\right)$, для чего сделаем следующие допущения.

При неглубоком залегании фундамента будем считать, что: а) здание опирается на основание и не имеет связи с грунтом по боковым поверхностям; б) растягивающие напряжения между подошвой и основанием при совместном действии статистической и сейсмической нагрузок равны нулю; в) касательные напряжения вдоль плоскости соприкосновения фундамента и основания не должны превышать силы трения.

Инструментальная запись акселерограммы землетрясений представим в виде последовательно действующих импульсов, продолжительность которых намного меньше периода свободных относительных колебаний первого этажа зданий. При действии первого импульса фундамент с массой M_0 получает скорость. Из условия равенства величины импульса $I = P\Delta t$ и приращения количества движения $M_0 v$

за время Δt получим: $P\Delta t = M_0 v$, откуда $v = \frac{P\Delta t}{M_0}$. За этот срок времени Δt действия импульса масса M_0 получает перемещение

$$\Delta U = \frac{v\Delta t}{2} = \frac{P\Delta t^2}{2M_0}.$$

откуда следует, что в течение времени Δt воздействия вынуждающей силы конструкция получает только изменение скорости, после чего возникают колебания конструкции. В отличие от спектра иной теории, перемещения конструкций на разных уровнях здания не возникают одновременно, обусловленные конечной скоростью распространения сейсмической волны смещений.

Проследим за распространением волны

$$\tilde{P}\left(t - \frac{x}{v}\right) = Ue^{i\omega\left(t - \frac{x}{v}\right)}.$$

В течение времени $\frac{x}{v} = t_1$ волна перемещается на расстояние $x = vt_1$ и

$$\tilde{P}(t - t_1) = Ue^{i\omega(t - t_1)} = (A - iB)e^{i\omega(t - t_1)}. \quad (2)$$

Возьмем действительную часть уравнения (2):

$$\operatorname{Re} \left[\tilde{P}(t - t_1) \right] = A \cos \omega(t - t_1) + B \sin \omega(t - t_1). \quad (3)$$

Продифференцировав уравнение (3) и имея в виду, что $t = t_1 \rightarrow 0$, $\Delta t_1 = 0$ и $v = \frac{P\Delta t}{M_0}$, получим: $B = \frac{v}{\omega} = \frac{P\Delta t}{\omega M_0}$, следовательно

$$\tilde{P}\left(t - \frac{x}{v}\right) = \frac{P\Delta t}{M_0 \omega} \sin\left(t - \frac{x}{v}\right),$$

а при действии второго и последующих n импульсов—

$$\tilde{P}(t - n\Delta t) = \sum_{i=1}^n \frac{P(n\Delta t) \Delta t}{M_0 \omega} \sin \omega(t - n\Delta t).$$

Установим время t^* , при котором смещение фундамента получается максимальным: $t^* = \frac{x}{v} = n\Delta t$. Тогда:

$$\tilde{P}_1(t) = \int_0^t \frac{P(\xi)}{\omega M_0} \sin \omega\left(t - \frac{\xi}{v}\right) d\xi. \quad (4)$$

Естественно предполагать, что чем меньше скорость волны, тем больше энергии накапливается в здании. Наименьшая скорость, согласно [2] равна

$$V_{\phi \min} = \frac{2}{\pi} \omega_1 H_1,$$

при которой длина волны имеет наименьшее значение $\lambda = 2H_1$, а частота и период равны $\omega = 2\omega_1$ и $T = \frac{T_1}{2}$, в этом случае $t^* = \frac{T_1}{2}$.

При этом волна проходит путь $x = \frac{T_1}{2} \omega_1 H_1$, $x = 2H_1$.

Максимальное значение перемещения фундамента для любого фиксированного $t=t_1$ с учетом рассеяния энергии определяется по формуле

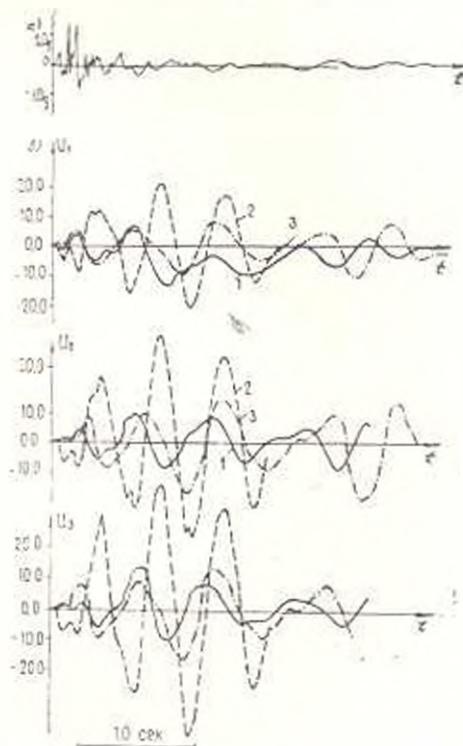
$$\bar{P}_1(t) = \frac{1}{2\omega_1} \int_0^t U_0(\xi) e^{-\omega_1(t-\xi)} \sin 2\omega_1(t-\xi) d\xi, \quad (5)$$

где $U_0(\xi) = \frac{P(\xi)}{Al_0}$ — запись ускорения грунта.

Имея значение функций $\bar{P}_1(t)$, нетрудно определить перемещение любого уровня здания. Так, согласно выражению, приведенному в [3], перемещение k -ой массы консольной расчетной схемы при отсутствии отражений и преломлений на уровне междуэтажных перекрытий определяется:

$$U_k(t) = \bar{P}_1\left(t - \sum_{j=1}^k \frac{H_j}{v_j}\right) = 2\bar{P}_1\left(t - \sum_{j=1}^k \frac{H_j}{v_j} - \sum_{j=1}^k \frac{H_j}{v_j}\right). \quad (6)$$

Рис. а) акселерограмма сейсмозрывного воздействия; б) сейсмограммы, зарегистрированные и построенные по расчетам на этажах модели здания. 1 — зарегистрированные при сейсмозрывном воздействии; 2 — построенные по результатам расчета спектральной теории; 3 — построенные по результатам расчетов волновой теории.



Чтобы получить достоверные результаты расчетов, необходимо иметь конкретные значения физико-механических параметров строи-



материалов и конструкций, которые лучше всего установить при интенсивных сейсмических воздействиях. Но до сих пор полных данных, включающих записи на этажах, фундаменте, и жесткостные характеристики до и после интенсивных сейсмических воздействий крайне мало. Такие данные имеются для крупномасштабных моделей, подвергшихся сейсмовзрывным воздействиям [4]. На рисунке приведены сейсмограммы сейсмовзрывного воздействия, зарегистрированные на грунте, фундаменте и на этажах модели.

Сопоставлением графиков смещений, построенных по формуле (5), с реальной записью, зарегистрированной на свободной поверхности грунта, устанавливаем значения $\omega_0 = 15 \text{ с}^{-1}$ и $T_1 = 0,42 \text{ с}$. Имея сейсмограмму на свободной поверхности грунта, легко построить сейсмограммы на уровнях перекрытий. Вычисления осуществлены по формуле (6) на ЭВМ и графическим способом. На рисунке приведены сейсмограммы, полученные по расчету на ЭВМ. Расчеты графическим способом и на ЭВМ привели к расхождению значений амплитуд не более, чем на 15%. Для сравнения результатов на рисунке приведены также сейсмограммы, построенные по расчетам спектральной теории. Сопоставляя графики смещений на уровнях этажей, можно заключить, что предложенный метод расчета дает более достоверные результаты, чем спектральный метод.

Предложенный практический метод расчета на сейсмостойкость с учетом конечной скорости распространения волны смещений в конструкции можно применять при исследовании поведения зданий и сооружений при землетрясениях.

Ս. Շ. ԿԱԶԱՅԵԱՆ, Գ. Կ. ԿՐԵՏՊԵՏՅԱՆ

ԵՐԿՐԱՆՈՒՄԻ ԲԱՆԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ԽՆԴԻՐՆԵՐՈՒՄ ԱՐԷԱՅԻՆ ՏՆՈՒԹՅԱՆ
ՕԳՏԱԿՈՐԾՄԱՆ ԳՈՐԾՆԱԿԱՆ ՄԵԹՈԴ

Ա մ փ ո փ ու ռ մ

Հոդվածում բերված է արհեստի տեսությանը շենքերի և կառույցների երկրաշարժակայունության հաշվման գործնական մեթոդիկոմ՝ առանց էՉՄ-ի օգտագործման: Որպես հաշվարկային սխեմա վերցված է միջհարկային ծածկերի մակտրոնականում կենտրոնացված դանդաղվածներով կոնստրուկցիոն ձող նշված մեթոդիկայով կատարված հաշվարկների արդյունքները համեմատված են սպեկտրալ և արհեստի տեսությանը շենքերի օգնությամբ կատարված հաշվարկների արդյունքների հետ և հաստատված է, որ առաջարկվող մեթոդիկան շի բերում նկատելի սխալների:

- 1 Виқаде А. В. Уравнения математической физики.—М.: Наука, 1982—336 с.
- 2 Назаров А. Г. Колебания упругой системы с одной степенью свободы при землетрясении с учетом скачкообразного изменения её жесткости // ДАН АрмССР.—1967—Т. XIV, № 5.—С. 203—208.
- 3 Напетваридзе Ш. Г., Хачатрян С. О Совместный учет волнового процесса и локальных повреждений в зданиях при расчете на сеймостойкость // Анализ последствий землетрясений: Сб. науч. тр. —М., 1982, ЦНИИСК.—С. 32—45
- 4 Микацкян В. Л., Назаров А. Г. Эксперименты на моделях обычных сейсмостойких зданий.—Ереван, Изд-во АН АрмССР, 1984—86 с.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XLI, № 3, 1988

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Ю. А. ГАСПАРЯН, А. В. АРШАКЯН, С. А. МАРКАРЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ НИЗКОЧАСТОТНОГО РЕЗОНАНСНОГО ЗВУКОПОГЛОТИТЕЛЯ С ВНУТРЕННЕЙ ПАНЕЛЮ НА УПРУГИХ СВЯЗЯХ

Для снижения основной резонансной частоты звукопоглотителя (ОРЗП) предложен новый способ смещения частоты в низкочастотную область [1]. Составим уравнения движения акустической системы, схема которых показана на рис. 1. При падении плоской звуковой волны в резонансную полость 1 через горловину, площадь входного поперечного сечения которой равна S_0 , а длина— l_0 , там же действует избыточное акустическое давление $P(t)$. Резонансные полости 1, 2 связаны с помощью перфорированной панели 3, имеющей толщину τ и упруго опертой по краям с помощью пружинных подвесов с жесткостью k . Площадь отверстий перфорации обозначим S_n , их число— n , а площадь поперечного сечения резонатора— S . Когда перфорированная панель находится в состоянии равновесия, глубины секций камер 1 и 2 равны l_1 и l_2 . Панель может смещаться под воздействием звуковых волн на расстояние X . Для составления уравнений движения механической колебательной системы, состоящей из отдельных звеньев с массами m_i и упругостью k_i , удобно применять метод Даламбера.

ОРЗП имеет по одной степени свободы для горловины и каждой резонансной полости 1, 2 и одну степень для упруго опертой панели. Согласно рекомендациям [2] в частотном диапазоне его работа в простейшем случае теоретически описывается системой для связанных линейных осцилляторов.

Рассматривая движение скорости воздуха и давление звуковой волны в отверстиях перфорации и балансовые соотношения в объемах камер, используя осредненное изменение импульса, получаем линейные системы уравнений: