

Методика определения периода и логарифмического декремента основного тона собственных колебаний зданий и сооружений

В. М. ДОРОФЕЕВ,
руководитель отдела мониторинга и комплексного обследования зданий и сооружений, канд. физ.-мат. наук
И. И. БУЛЫКИН,
ст. науч. сотрудник
Н. В. НАЗЬМОВ,
ст. науч. сотрудник

В последнее время при обследовании и мониторинге технического состояния зданий и сооружений часто используют анализ изменения динамических параметров объектов для контроля изменения их напряженно-деформированного состояния. В проекте находящегося в настоящее время на утверждении МГСН 2.10-04 «Временные нормы и правила обследования технического состояния и мониторинга зданий и сооружений в г. Москве» также предусмотрена регистрация динамических параметров объектов, в частности периода и логарифмического декремента основного тона собственных колебаний зданий и сооружений. МНИИТЭПом разработана методика определения этих параметров на основе природно-техногенных динамических воздействий.

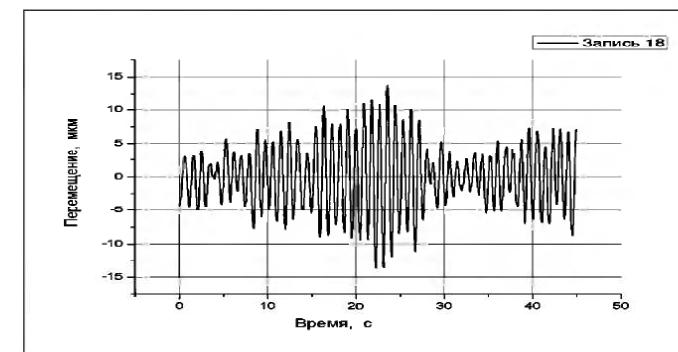
Для практического нахождения периода объекта предлагается следующая процедура. По трем главным взаимно перпендикулярным

© МНИИТЭП, 2006

собственных колебаний здания по каждой из осей. Поскольку колебания здания представляют собой сумму его собственных колебаний и вынужденных колебаний, вызванных различными внутренними (работа лифтов, бытовой техники, мусоропровода, технических систем здания и т. п.) и внешними (городской транспорт, стройки и т. п.) воздействиями, то для выявления собственных колебаний проводят серию измерений.

На первом этапе обработки результатов измерений определяют величину периода основного тона собственных колебаний здания по каждой компоненте. На основе преобразования Фурье строятся спектры мощности (рис. 2) каждого полученного сигнала $P_i = P_i(f_j)$, где f_j – частота ($f_1 = 0$; $f_2 = \Delta f$; $f_3 = 2\Delta f$, ...).

Рис. 1. Запись смещения 16-го этажа 16-этажного блочно-панельного здания вдоль поперечной оси



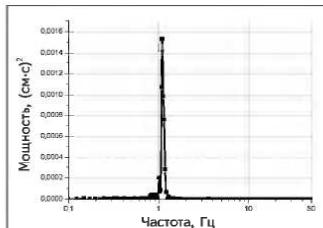


Рис. 2. Спектр мощности для записи сигнала, представленной на рис. 1

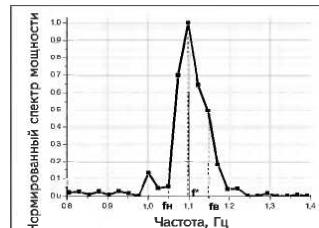


Рис. 3. Отфильтрованный и нормированный участок спектра мощности записи сигнала, представленной на рис. 1

Значения периодов и логарифмических декрементов основного тона собственных колебаний различных зданий (для колебаний вдоль поперечной оси здания)

Конструктивный тип здания	Число этажей	$T, \text{с}$	$\Delta_T, \text{с}$	D	Δ_D
Блочно-панельное	16	0,835	0,001	0,129	0,013
Крупноблочное	14	0,782	0,002	0,199	0,017
Панельное	12	0,705	0,013	0,179	0,013
Панельное	9	0,449	0,002	0,249	0,025
Крупноблочное	5	0,298	0,003	0,043	0,006
Кирпичное	5	0,369	0,030	0,253	0,031
Кирпичное	5	0,356	0,035	0,450	0,050

$f_j = (j-1)\Delta f$, где Δf – шаг дискретизации сигнала).

Затем производится их фильтрация полосовым фильтром с границами частотной полосы пропускания $F_1 = 1/T_1$ и $F_2 = 1/T_2$, где T_1 и T_2 – соответственно максимально и минимально возможные значения периода основного тона собственных колебаний для данного типа здания или сооружения. После этого производится нормирование полученного в результате фильтрации участка спектра $(P_i)_n$ (рис. 3) и для каждого нормированного спектра $(P_i)_n$ серии из n измерений находят соответствующее значение максимума $(P_i)_n = 1$ значение частоты f_{ij}^* и собственного периода $T_i = 1/f_{ij}^*$. В результате вычисляют среднее арифметическое значение T и среднее квадратическое отклонение среднего арифметического значения σ_T по серии.

Погрешность измерения периода определяется количеством измерений n в серии и выбранной доверительной вероятностью p .

Для выбранных значений n и p абсолютная погрешность измерений определяется выражением

$$\Delta_T = \mu(n, p) \sigma_T,$$

где $\mu(n, p)$ – коэффициент функции Лапласа.

Таким образом, с вероятностью p значение периода колебаний находится в интервале $T \pm \Delta_T$.

Величину логарифмического декремента основного тона собственных колебаний здания D определяют на основе известного выражения

$$D = p/Q,$$

где Q – добродатность, которая связана с частотами спектра мощности выражением

$$Q = f_j^*/(f_b - f_n),$$

где f_b и f_n – соответственно верхняя и нижняя границы полосы частот, на которой энергия системы вдвое меньше энергии на собственной частоте.

Поскольку $(P_i(f_{ij}^*))_n = 1$, то $(P_i(f_b))_n = (P_i(f_n))_n = 0,5$.

В силу дискретности сигнала значения f_b и f_n выбирают как ближайшие значения частот в преобразовании Фурье, для которых выполняются условия

$$(P_i(f_b))_n < 0,5; (P_i(f_n))_n < 0,5.$$

Таким образом, для каждого измерения имеем

$$D_i = p(f_b - f_n)/(f_{ij}^*).$$

В результате вычисляют среднее арифметическое значение D и среднее квадратическое отклонение среднего арифметического значения σ_D по серии. Для выбранных значений n и p абсолютную погрешность измерений определяют по формуле

$$\Delta_D = \mu(n, p) \sigma_D.$$

Таким образом, с вероятностью p значение логарифмического декремента колебаний находится в интервале $D \pm \Delta_D$.

Результаты использования приведенной технологии для определения периода и логарифмического декремента основного тона собственных колебаний зданий с помощью сейсмографа ПРДП при контроле технического состояния некоторых зданий в Москве приведены в таблице, из которой видно, что при $n = 20$ и $p = 0,9$ ошибка измерения периода не превышает 0,5 % для зданий выше 9 этажей и колеблется от 1 до 10 % для 5-этажных зданий. Значения логарифмического декремента колебаний не имеют явно выраженной зависимости от этажности и колеблются от 7 до 14 %.

Явно выраженная зависимость точности измерения периода от этажности зданий может быть объяснена следующим обстоятельством. Измерения для первых четырех зданий (см. таблицу), осуществлялись при существенно более высоком (на порядок) фоне природно-техногенного динамического воздействия, которое возбуждало собственные колебания зданий. В связи с этим уровень возбуждаемых собственных колебаний был достаточно высоким и соотношение сигнала шума и сигнала собственных колебаний было выше, чем для трех последних зданий. Этот факт требует дополнительных исследований.