

## ПРАКТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗДАНИЙ

В. Ю. Казаков

*При выведении здания или сооружения из состояния равновесия, вызванном техногенными факторами и различными опасными природными явлениями (особенно в сейсмоопасных районах), зарегистрированные динамические характеристики представляют существенную часть информации о реальном его состоянии в сравнении с исходными (проектными) данными. В связи с этим для оценки состояния здания возникает необходимость определения его фактических динамических характеристик с учетом полученных повреждений и сравнения их с проектными значениями. Основными динамическими характеристиками системы являются периоды и формы свободных колебаний. Периоды свободных колебаний определяют степень влияния данного динамического воздействия на систему в целом, а формы их характеризуют влияние этого воздействия в различных точках системы.*

**Ключевые слова:** динамические характеристики, периоды и формы свободных колебаний, разрушение зданий и сооружений, динамическое воздействие.

Здания и сооружения в процессе эксплуатации могут получить повреждения, вызванные техногенными факторами и различными опасными природными явлениями (особенно в сейсмоопасных районах). Вследствие этого снижаются эксплуатационные характеристики объектов, при этом увеличивается вероятность возможного повреждения здания или сооружения при последующих природных и техногенных воздействиях, поскольку в результате возникновения дефектов в конструкциях происходит понижение рабочих площадей и моментов инерции поперечных сечений конструктивных элементов. За счет уменьшения жесткостных параметров происходит снижение частот собственных колебаний в предположении неизменности массовых характеристик упругого объекта.

При выведении сооружения из состояния равновесия зарегистрированные динамические характеристики представляют существенную часть информации о реальном его состоянии в сравнении с исходными (проектными) данными. В связи с этим для оценки состояния здания возникает необходимость определения его фактических динамических характеристик с учетом полученных повреждений и сравнения их с проектными значениями.

Основными динамическими характеристиками системы являются периоды и формы свободных колебаний. Периоды свободных колебаний определяют степень влияния данного динамического воздействия на систему в целом, а формы их характеризуют влияние этого воздействия в различных точках системы.

Достоверность определения периодов и форм свободных колебаний даже сравнительно простых упругих систем часто связана с громоздкими вычислениями, а в более сложных случаях такое определение влечет за собой значительные математические трудности. Поэтому в практических расчетах широко используют приближенные методы. Предварительную информацию о динамических характеристиках существующих зданий можно получить на основании обобщенных статистических данных по среднему периоду собственных колебаний здания в зависимости от его этажности, основных размеров, характеристик грунтового основания и параметров демпфирования.

В работах различных исследователей приведены различные данные по периодам и частотам собственных колебаний зданий и сооружений. С. В. Медведевым получена [1—3] формула для расчета периода собственных колебаний сооружений, позволяющая сравнительно легко вычислить период собственных колебаний сооружения:

$$T_0 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{y_0}{x_0^2 \cdot g} \cdot \sum Q_i \cdot X_i^2},$$

где  $T_0$  — период колебаний, с;  $Q_i$  — вес участка сооружения, отнесенный к точке  $i$ , т;  $X_i$  — расстояние от основания сооружения до точки  $i$ , м;  $g$  — ускорение силы тяжести  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>;  $x_0$  — расстояние от основания сооружения до точки, в которой определяется  $y_0$ , м;  $y_0$  — прогиб в точке  $x_0$ , от горизонтальной силы, равной 1 т, приложенной в точке  $x_0$  при деформациях изгиба сдвига и поворота основания сооружения, м/т.

Для приближенных подсчетов периодов колебаний двух или более этажных зданий С. В. Медведев предлагает элементарную эмпирическую формулу:

---

Казаков Вячеслав Юрьевич, адъюнкт,  
Академия гражданской защиты МЧС России,  
Россия, Московская обл, г. Химки,  
e-mail: vestnik\_vi\_gps@mail.ru

---

$$T_0 = 0,3 \cdot \frac{H}{\sqrt{b \cdot g}},$$

где  $H$  — высота сооружения, м;  $b$  — ширина сооружения, м;  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ .

Основываясь на данных, полученных вследствие замера колебаний зданий (кирпичные, блочные, каркасные), Е. И. Баркадзе [4] предлагает следующую зависимость, в основе которой лежит формула профессора С. В. Медведева:

$$T_0 = 0,2 \cdot \frac{H}{\sqrt{b \cdot g}} \pm 10 \%$$

Увеличивая или уменьшая величину

$$0,2 \cdot \frac{H}{\sqrt{b \cdot g}}$$

на 10 % в зависимости от грунтовых условий, а именно при гибких сооружениях и слабых грунтах увеличивая ее, а при жестких сооружениях и плотных грунтах соответственно уменьшая, получают величину периода собственных колебаний. Им же предложены также ориентировочные формулы для определения периода свободных колебаний с учетом только высоты здания:

- для каркасных:  $T_0 = 0,018 H$ ;
- для кирпичных:  $T_0 = 0,017 H$ ;
- для крупноблочных:  $T_0 = 0,015 H$ .

Формула при значении  $T_0 = 0,018 H$  совпадает с формулой выведенной американскими учеными Ульрихом и Кардером.

На основании проведенных экспериментальных исследований сорока зданий (от 1 до 10 этажей) Б. К. Карапетян предлагает формулу для определения периода собственных колебаний с помощью микросейсмических колебаний [5]:

$$T_0 = k \cdot \frac{H}{\sqrt{b}},$$

где  $k$  — коэффициент, зависящий от грунтов и от вида несущих конструкций, равный 0,05—0,08 (больше — в глинах);  $H$  — высота здания, м;  $b$  — наименьшая сторона здания, м.

Для предварительных расчетов зданий и сооружений на сейсмические нагрузки также применяются следующие эмпирические формулы:

– для зданий с жесткой конструктивной схемой:

$$T_0 = 0,0905 \cdot \frac{H}{\sqrt{b}},$$

$$T_0 = 0,0102 \cdot H + 0,034,$$

где  $H$  — высота здания, м;  $b$  — размер здания в плане (ширина или длина), м;

– для каркасных зданий:

$$T_0 = 0,0178 \cdot H + 0,098;$$

– для зданий высотой более 15 м:

$$T_0 = 0,017 \cdot \sqrt{\delta},$$

где  $\delta$  — горизонтальное перемещение верха здания, рассматриваемого как консоль с постоянным по высоте весом и постоянной жесткостью, под действием нагрузки, равной весу здания;

– для зданий с жесткой конструктивной схемой при учете влияния грунтов, залегающих в основании:

$$T_0 = \frac{v \cdot H \cdot \psi}{\sqrt{b \cdot g}},$$

где  $v$  — коэффициент, зависящий от грунта в основании здания:

$$v = \frac{45}{R_{cp}},$$

где  $R_{cp}$  — расчетное сопротивление грунта, кПа;  $\psi$  — коэффициент, характеризующий несущие конструкции: для кирпичных зданий — 1,0; для крупнопанельных зданий — 0,95.

А. М. Парамзин и А. С. Таубаев по результатам замеров динамических характеристик объектов в г. Кишиневе, выполненных после Карпатского землетрясения 31 августа 1986 г., предложили эмпирические формулы для определения периодов собственных колебаний зданий, перенесших землетрясение, в зависимости от количества этажей  $n$ :

– каменные здания высотой от 2 до 9 этажей:

$$T_0 = 0,2 + 0,03 \cdot (n - 2);$$

– крупнопанельные здания высотой от 4 до 14 этажей:

$$T_0 = 0,5 \cdot n;$$

– каркасно-панельные здания высотой от 2 до 14 этажей:

$$T_0 = 0,3 + 0,06 \cdot (n - 2);$$

– монолитные здания высотой от 9 до 24 этажей:

$$T_0 = 0,5 + 0,07 \cdot (n - 9).$$

Возможные значения основного периода определяются также по следующим эмпирическим формулам:

$$T_1 = an; \quad T_2 = \beta H; \quad T_3 = \mu C \sqrt{B};$$

$$T_4 = \mu C_2; \quad T_5 = C_3 H \psi K \cdot \sqrt{B},$$

где  $T_1$  — значение основного периода в зависимости от числа этажей  $n$  при  $a = 0,08$ ;  $T_2$  — период, зависящий от высоты здания  $H$  при  $\beta = 0,017$ ;  $T_3$  — значение периода в зависимости от этажности здания  $n$  и коэффициентов  $C$  и  $\mu$ , где  $\mu$  — отношение высоты здания к его характерному размеру в плане  $\mu = H/B$ ,  $C$  — функция параметров  $\mu$  и  $n$ :

$$C = \begin{cases} 0,08(\mu \geq 2, n < 6), \\ 0,12(\mu < 2, n < 6), \\ 0,02(n \geq 6); \end{cases}$$

$T_4$  — период, зависящий от параметров  $\mu$  и  $C_2 = 0,2$ ;  
 $T_5$  — период, зависящий от величин  $H$  и  $B$ , параметров  $C_3$ ,  $K$ ,  $\psi$  и ускорения свободного падения  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ , при значениях коэффициентов:  $\psi = 0,57$ ,  $K = 1,34\sqrt{H}$ ;  $C_3 = 0,25$  при  $n < 6$  и  $C_3 = 0,35$  при  $n \geq 6$ .

Величины, определяемые вышеуказанными соотношениями, характеризуют вероятный диапазон периодов. Они позволяют приблизительно установить среднее значение, экстремумы и дисперсию

#### Библиографический список

1. Саламандра, Г. Д. Фотографические методы исследования быстротекающих процессов / Г. Д. Саламандра. — М.: Наука, 1974. — 344 с.
2. Смирнов, А. Ф. Строительная механика. Динамика и устойчивость сооружений / А. Ф. Смирнов, А. В. Александров, Б. Я. Лашенников, Н. Н. Шапошников. — М.: Стройиздат, 1984. — 425 с.
3. Смоленская, Н. Г. Современные методы обследования зданий / Н. Г. Смоленская, А. Г. Ройтман, В. Д. Кириллов, Л. А. Дудышкина, Э. Ш. Шифрина. — М.: Стройиздат, 1979. — 148 с.
4. Баркадзе, Е. И. Влияние динамической жесткости здания на его сейсмостойкость / Е. И. Баркадзе // Инженерная сейсмология. — № 1—2. — Ленинакан: Изд-во Душанбе, 1964.
5. Карапетян, Б. К. Изучение колебаний некоторых инженерных сооружений / Б. К. Карапетян // Тр. ин-тов АН Тадж. и Арм. ССР. — № 1—2. — Душанбе: Изд-во АН Тадж. ССР.
6. Сборник методик по прогнозированию возможных аварий, катастроф, стихийных бедствий и РСЧС: в 2 кн. Кн. 1. Методика оценки последствий ураганов. — М., 1994. — 76 с.

периода и основной частоты собственных колебаний сооружения.

Поскольку приведенные данные получены опытным путем на существующих зданиях различного возраста, значения этих частот могут быть несколько меньшими, чем частоты, соответствующие проектным данным, т. е. зданиям с нулевым износом. Поэтому при использовании значений частот, полученных по вышеуказанным формулам, можно вводить поправку с учетом величины дисперсии  $D_{\phi}^2$  [6].

Поднятые вопросы актуальны в свете задач касающихся предупреждения чрезвычайных ситуаций, связанных с аварийным обрушением зданий и сооружений.

#### References

1. Salamandra, G. D. Fotograficheskie metody issledovaniya bystroprotekeyushhix processov / G. D. Salamandra. — M.: Nauka, 1974. — 344 s.
2. Smirnov, A. F. Stroitel'naya mexanika. Dinamika i ustojchivost' sooruzhenij / A. F. Smirnov, A. V. Aleksandrov, B. Ya. Lashhennikov, N. N. Shaposhnikov. — M.: Strojizdat, 1984. — 425 s.
3. Smolenskaya, N. G. Sovremennye metody ob sledovaniya zdaniy / N. G. Smolenskaya, A. G. Rojtmán, V. D. Kirillov, L. A. Dudyshkina, E. Sh. Shifrina. — M.: Strojizdat, 1979. — 148 s.
4. Barkadze, E. I. Vliyanie dinamicheskoy zhestkosti zdaniya na ego sejsmostojkost' / E. I. Barkadze // Inzhenernaya sejsmologiya. — № 1—2. — Leninakan: Izd-vo Dushanbe, 1964.
5. Karapetyan, B. K. Izuchenie kolebanij nekotoryx inzhenernyx sooruzhenij / B. K. Karapetyan // Tr. intov AN Tadh. i Arm. SSR. — № 1—2. — Dushanbe: Izd-vo AN Tadh. SSSR.
6. Sbornik metodik po prognozirovaniyu vozmozhnyx avarij, katastrof, stixijnyx bedstvij i RSChS: v 2 kn. Kn. 1. Metodika ocenki posledstvij uraganov. — M., 1994. — 76 s.

## PRACTICAL MEASUREMENT OF DYNAMIC PERFORMANCE OF BUILDINGS

Kazakov V. Yu.,

Adjunct,

Civil Defence Academy EMERCOM of Russia;

Russia, Khimki, e-mail: vestnik\_vi\_gps@mail.ru

*When laying the building or structure of the equilibrium state, caused by technological factors and various natural hazards (especially in earthquake-prone areas), registered dynamic characteristics represent a significant part of the information about the real state in comparison with the baseline (project) data. In this regard, to assess the condition of the building is necessary to determine its actual dynamic characteristics with account of the injuries and their comparison with the design data. The basic dynamic characteristics of the system are periods and forms of free oscillations. Periods of free oscillations determine the degree of influence of this dynamic impact on the whole system, the forms of their characterize the impact of this impact in different parts of the system.*

**Keywords:** dynamic characteristics, periods and forms of free oscillations, the destruction of buildings and structures, dynamic effect.