

Расчет высотных сооружений на воздействие порывов ветра

П. Н. НИКИТИН,
науч. сотрудник

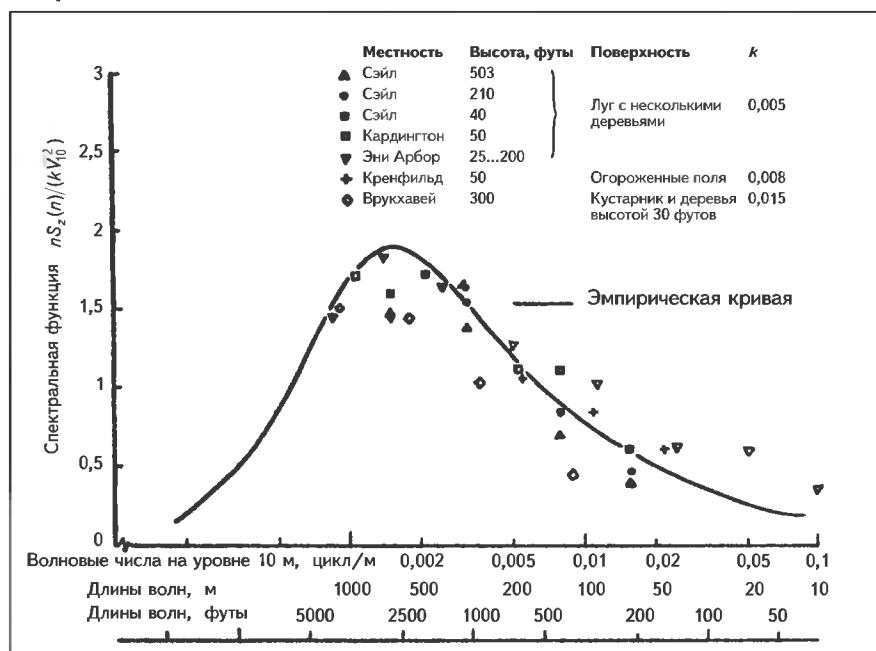
В перемещениях высотных сооружений при воздействии ветра выделяют статическое отклонение, вызванное макрометеорологическими изменениями скорости ветра, и колебательные перемещения от порывов ветра [1].

Цель данной статьи — выявление квазистатической и резонансной составляющих колебаний сооружений под действием порывов ветра, при этом используется метод непосредственного динамического расчета на стационарное случайное воздействие.

Как известно из работы [2], воздействия ветра преобразуются в реакцию сооружения (перемещения, усилия, моменты, напряжения) посредством двух передаточных функций: аэродинамической и механической. Для частотной характеристики входного воздействия используется спектральная функция Давенпорта [3] (рис. 1)

$$S(n) = \frac{2k_0 V_0 u^2}{n(1+u^2)^{4/3}}, \quad (1)$$

Рис. 1. Спектр горизонтальной порывистости при больших скоростях ветра



где n — частота воздействия; k_0 — коэффициент лобового сопротивления подстилающей поверхности; V_0 — средняя скорость ветра на высоте 10 м; $u = nL/V$ — приведенная частота; $L = 1200$ м — масштаб длины.

Аэродинамическую передаточную функцию приравняем к 1 для всего анализируемого частотного диапазона, что, очевидно, приведет к некоторому завышению вклада резонансных колебаний. Для определения механической передаточной функции введем ряд допущений. В связи с тем, что у высотных сооружений разреженный спектр собственных частот и основной вклад в суммарные резонансные колебания вносят колебания по первой форме, сооружение можно рассматривать как систему с одной степенью свободы (рис. 2).

Механическая передаточная функция для такой системы будет иметь вид

$$H(n) = \frac{Q_0(n)}{\sqrt{\alpha^2 \omega^2 + (K - m\omega^2)^2}}, \quad (2)$$

где Q_0 — амплитуда вынуждающей силы; α — коэффициент затухания; ω — циклическая частота вынуждающей силы, $\omega = 2\pi n$; K — приведенная жесткость сооружения.

Согласно методике, описанной в [4], квадрат перемещений участков сооружения пропорционален произведению квадрата механической передаточной функции и спектра воздействий

$$y^2 = q H^2(n) S(n), \quad (3)$$

где q — коэффициент пропорциональности.

Данное выражение не позволяет вычислить фактические значения перемещений, но дает возможность определить спектральный состав перемещений под действием порывов ветра. В практике расчета частотный спектр входного воздействия разбивают на интервалы, в пределах которых характеристики воздействия усредняют.

Далее проводят обработку данных каждого интервала, результатом которой является частотный спектр перемещений сооружения.

На рис. 3 представлен расчетный спектр перемещений для башни сотовой связи высотой 70 м в г. Пушкино. При средней скорости ветра $V_0 = 6,8$ м/с квазистатические перемещения сооружения составили $\approx 59\%$, а резонансные $\approx 41\%$ суммарных динамических перемещений.

Для проверки расчетных положений автором данной статьи были проведены натурные записи перемещений вершины рассматриваемого сооружения под действием ветра посредством оптического комплекса. По результатом обработки записей получены спектры перемещений (рис. 4).

По данным обработки экспери-

Рис. 2. Схема приведения конструкции сооружения к однодимассовой системе

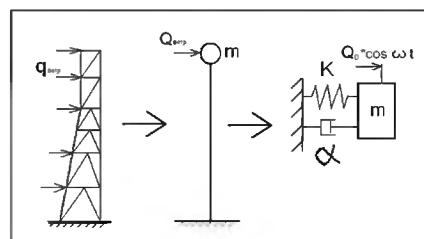




Рис. 3. Расчетный спектр перемещений башни высотой 70 м в г. Пушкино



Рис. 4. Экспериментальный спектр перемещений башни высотой 70 м в г. Пушкино

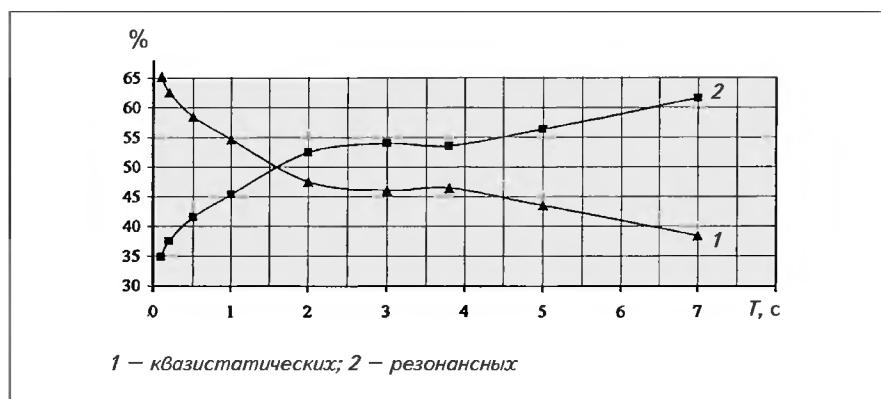


Рис. 5. Доля составляющих перемещения сооружения, %

Вклад квазистатической и резонансной составляющих перемещений в зависимости от периода собственных колебаний сооружения, %

Перемещения	Период собственных колебаний T_0 , с								
	7	5	3,8	3	2	1	0,5	0,2	0,1
Квазистатические	38,4	43,5	46,4	46	47,5	54,7	58,5	62,5	65,2
Резонансные	61,6	56,5	53,6	54	52,5	45,3	41,5	37,5	34,8

ментальных спектров квазистатические перемещения составили 65 %, резонансные — 35 %. Сравнение данных натурных испытаний с расчетными значениями выявляют хорошую сходимость результатов расчета. Расхождения объясняются принятыми ранее при расчете упрощениями.

В таблице и на рис. 5 приведены данные по вкладам квазистатических и резонансных перемещений в зависимости от периода собственных колебаний при расчетных скоростях ветра.

Как следует из полученных результатов, вклад квазистатической составляющей увеличивается с уменьшением периода собственных колебаний, а вклад резонансной составляющей возрастает с увеличением периода собственных колебаний сооружения. Так, при периоде колебаний $T_0 = 7$ с вклад квазистатической части перемещений составляет 38,4 %, а резонансной — 61,6 %, а при $T_0 = 0,1$ с квазистатической части — 65,2 %, резонансной — 34,8 %.

Эти данные, вычисленные прямым расчетом, в достаточной степени согласуются с результатами, полученными при использовании методики, представленной в [5, 6].

ЛИТЕРАТУРА

- Van der Hoven J. Power Spectrum of Horizontal Wind Speed in Frequency Range from 0.0007 to 9000 cycles per Hour. J. of the Met. V. 14, 1957.
- Davenport A. G. Gust loading factors // J. of the structural division Proceedings of the American Society of Civil Engineers. June, 1967.
- Davenport A. G. The Spectrum of Horizontal Gustiness Near the Ground in High Winds // J. Royal Meteorol. Soc. 87, 1961.
- Руководство по расчету зданий и сооружений на действие ветра / ЦНИИПСК им. В. А. Кучеренко Госстроя СССР. М.: Стройиздат, 1978.
- Остроумов Б. В., Гусев М. А. О квазистатической составляющей ветрового воздействия на сооружения // Пром. и гражд. стр-во. 2005. № 2.
- Остроумов Б. В., Гусев М. А., Никитин П. Н. Исследования квазистатических перемещений высотных сооружений под действием ветра // Монтажные и спец. работы в стр-ве. 2005. № 4.