

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

Г. А. АБОВЯН, Э. Е. ХАЧЯН, Г. Ц. ПОГОСЯН

К ИССЛЕДОВАНИЮ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ВИСЯЧИХ ПОКРЫТИЙ

За последние годы в сейсмических районах возводятся большепролетные общественные и промышленные сооружения. Разработка методов расчета таких сооружений на вертикальное сейсмическое воздействие имеет важное теоретическое и практическое значение [1].

В статье рассматриваются вопросы определения частот и форм свободных колебаний, а также сейсмической нагрузки для висячего покрытия круглого очертания с радиальным расположением вант (рис. 1, а), нагруженного равномерно-распределенной нагрузкой по всей поверхности покрытия, опорный контур которого колеблется в вертикальной плоскости по произвольному закону. При решении задачи предполагается, что опорный контур недеформируем; благодаря осевой симметрии покрытия и нагрузки работа всех элементов одинакова, что позволяет свести расчет пространственной системы к расчету отдельной плоской системы (рис. 1, б); расчет двухпопоясной системы приводится к однопопоясной с учетом безынерционной нагрузки от натягивающего пояса (рис. 1, е); постоянная нагрузка с учетом веса внутреннего кольца P (рис. 1, д), приведенная к горизонтальной плоскости, принята в виде параболы (рис. 1, е). Применимость указанных допущений доказана многочисленными исследованиями [3, 4, 5, 6]. Таким образом расчетная схема висячего покрытия приводится к гибкой нити (рис. 1, е), нагруженной нагрузкой, распределенной по закону

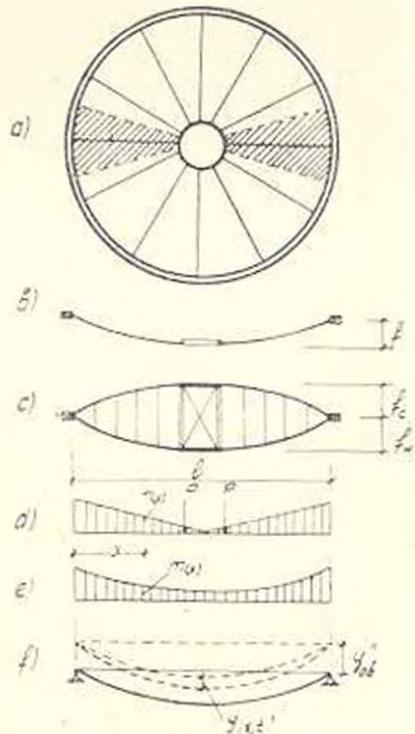


Рис. 1.

Приравнивая нулю определитель системы (7), получим уравнение n -го порядка относительно квадрата круговой частоты P_i . Решение полученного частотного уравнения можно представить в виде

$$P_i = \alpha_i \frac{\pi}{T} \sqrt{\frac{N}{m_0}}, \quad (10)$$

где α_i — числовой коэффициент, зависящий от формы колебания и от количества взятых членов в ряде (6).

Значения α_i для первых пяти форм колебания, полученные решением частотного уравнения при разных приближениях, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Приближ.	I	II	III	IV	V
Форма колебан.					
I	1,721	1,713	1,710	1,708	1,707
II	3,113	3,032	2,995	2,993	2,992
III	4,517	4,506	4,495	4,491	4,491
IV	5,788	5,786	5,784	5,783	5,782
V	7,020	7,016	7,013	7,011	7,011

Из таблицы видно, что для практических целей достаточно ограничиться вычислением частот форм колебаний с точностью трех приближений. В качестве примера рассмотрим проект внешнего покрытия Дворца спорта в Ереване пролетом 100 м. При стреле провисания 4 м, расчетной нагрузке 460 кг/м², количестве вант 96, с предвпрыжением равным 10% от внешней нагрузки, усилие в одной ванте $N = 157.5$. Подстановкой значения N в (10) получены следующие три периода свободных колебаний покрытия:

$$T_1 = \frac{2\pi}{P_1} = \frac{2\pi}{1,707 \frac{3,14}{100} \sqrt{\frac{157500}{150}}} = 3,59 \text{ сек};$$

$$T_2 = \frac{2\pi}{P_2} = \frac{2\pi}{2,992 \frac{3,14}{100} \sqrt{\frac{157500}{150}}} = 2,02 \text{ сек};$$

$$T_3 = \frac{2\pi}{P_3} = \frac{2\pi}{4,491 \frac{3,14}{100} \sqrt{\frac{157500}{150}}} = 1,35 \text{ сек}.$$

2. С целью определения сейсмической нагрузки рассмотрены вынужденные колебания покрытия при перемещении опорного контура в вертикальной плоскости по произвольному закону. Дифференциальное уравнение вынужденных колебаний будет

$$m(x) \frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial t^2} - N \frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial x^2} = -m(x) \ddot{y}_{\text{он}}(t), \quad (11)$$

где $\ddot{y}_{\text{он}}(t)$ — вертикальное ускорение движения опорного контура (вертикальная составляющая ускорения движения грунта при землетрясении).

Решение уравнения (11) ищем в виде

$$y(x, t) = \sum_{i=1}^n Y_i(x) V_i(t), \quad (12)$$

где $Y_i(x)$ — решение уравнения (4); $V_i(t)$ — неизвестные функции времени. Подставляя (12) в (11), получим

$$\sum_{i=1}^n [m(x) Y_i(x) \ddot{V}_i(t) - N Y_i''(x) V_i(t)] = -m(x) \ddot{y}_{\text{он}}(t). \quad (13)$$

Учитывая (4), получим

$$m(x) \sum_{i=1}^n Y_i(x) [V_i''(t) + P_i^2 V_i(t)] = -m(x) \ddot{y}_{\text{он}}(t). \quad (14)$$

Умножая обе части уравнения (14) на $Y_j(x)$ и интегрируя в пределах $[0, l]$, получим

$$\int_0^l m(x) \sum_{i=1}^n Y_i(x) Y_j(x) [V_i''(t) + P_i^2 V_i(t)] dx = -\ddot{y}_{\text{он}}(t) \int_0^l m(x) Y_j(x) dx. \quad (15)$$

Легко доказать, что при любых $i \neq j$ имеет место равенство

$$\int_0^l m(x) Y_i(x) Y_j(x) dx = 0 \quad (16)$$

и поэтому выражение (15) примет вид

$$V_i''(t) + P_i^2 V_i(t) = F_i(t), \quad (17)$$

где

$$F_i(t) = -\ddot{y}_{\text{он}}(t) \frac{\int_0^l m(x) Y_i(x) dx}{\int_0^l m(x) Y_i^2(x) dx}, \quad (18)$$

При учете внутреннего трения по эквивалентной гипотезе Фохта, уравнение (17) записывается в виде

$$V_i''(t) + P_i^2 V_i(t) + \frac{\gamma_i}{P_i} V_i'(t) = F_i(t), \quad (19)$$

где ψ_i — коэффициент внутреннего трения при i -ой форме колебания. Конечное решение неоднородного дифференциального уравнения (19) при нулевых начальных условиях будет

$$V_i(t) = -\frac{1}{P_i} \int_0^t F_i(\tau) e^{-\frac{\psi_i P_i}{2}(t-\tau)} \sin P_i(t-\tau) d\tau \quad (20)$$

Общее значение перемещения можно представить в виде

$$y(x, t) = -\sum_{i=1}^n Y_i(x) \frac{\int_0^l m(x) Y_i(x) dx}{\int_0^l m(x) Y_i^2(x) dx} \times \\ \times \frac{1}{P_i} \int_0^t y_{об}(\tau) e^{-\frac{\psi_i P_i}{2}(t-\tau)} \sin P_i(t-\tau) d\tau \quad (21)$$

Выражение сейсмической нагрузки

$$S(x, t) = m(x) [y_{об}''(t) + y_i''(x, t)] \quad (22)$$

для висячего покрытия на основании (21) примет вид

$$S(x, t) = \frac{Q(x)}{g} \cdot \sum_{i=1}^n \eta_{in}(x) \gamma_i(T_{in}, \psi_{in}, t), \quad (23)$$

где

$$\eta_{in}(x) = Y_i(x) \frac{\int_0^l m(x) Y_i(x) dx}{\int_0^l m(x) Y_i^2(x) dx}$$

коэффициент формы вертикального колебания по i -ой форме;

$$\gamma_i(T_{in}, \psi_{in}, t) = \frac{2\pi}{T_{in}} \int_0^t y_{об}''(\tau) e^{-\frac{\psi_i 2\pi}{T_{in}}(t-\tau)} \sin \frac{2\pi}{T_{in}}(t-\tau) d\tau - \text{приведенное}$$

сейсмическое ускорение опорного контура от вертикальной составляющей колебания грунта [2]. Полученная формула (24) позволяет определять сейсмическую инерционную нагрузку при произвольной вынуждающей силе.

Պ. Ա. ԱՐՈՎՅԱՆ, Է. Ե. ԿԱՐՅՅԱՆ, Ն. Յ. ՊԱՂՈՍՅԱՆ

ԿՈՆՈՎԻ ՊԱՐԵՆԻՐԻ ՍԵՅՍՄՈՒՆԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՄԱՆ ՇՈՒՐՋԸ

Ա Վ Վ Ի Ս Վ Ի Ո Ւ Մ

Հոգվածում ուսումնասիրվում է հասանելի գտնվող կար եզրագծով շատափրզավանաչի ծածկերի զինամիկ բնութագրերը: Ստացված է խնդրի ազատ տատանումների հիմնական (2) զիֆերենցիայ հավասարումը, որի լուծումը Կալյուրկինի եզանակով բերվում է ազատ տատանումների հաճախության ոչ ուղման (10) արաահալաութլանը:

Ստիգրդական տատանումների հիմնական զիֆերենցիայ հավասարման լուծումով ստացված է սեյսմիկ ուժի արաահալաութլունը կախովի ծածկերի համար:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. СНиП 11-А. 12—62 «Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования», М., 1963.
2. Хачия Э. Е. Некоторые прикладные задачи теории сейсмостойкости сооружений, Ереван, 1963.
3. Ржаница Я. Р. Статика и динамика пологих упругой шити. Сб. под ред. И. М. Рабиновича, М., 1962.
4. Лесников В. В., Харитонова Е. П. Экспериментальные исследования висячих оболочек кругового очертания в плане, Сб. под ред. И. Г. Людкового, М., 1962.
5. Гагаков А. П. Сейсмостойкость зданий с висячими покрытиями. Автореферат диссертации, Баку, 1966.
6. Степановичу А. А. Экспериментальное исследование двухпоясных пространственных предварительно напряженных висячих систем с гибким и жестким круглым контуром. Научные труды ВУЗ-ов Латвийской ССР. Строительство и архитектура, V.1.1966.