

УДК 531.31

М.В. Гончаренко, канд. техн. наук
П.П. Гусар

АНАЛІЗ ДИНАМІЧНОЇ РЕАКЦІЇ ПІЛОНА ПРИ СТОХАСТИЧНОМУ ВІТРОВОМУ НАВАНТАЖЕННІ

Досліджується вплив стохастичного характеру вітрового навантаження на коливання пластинчато-стрижневої конструкції. Вітрове навантаження представляється сумою двох складових: усталеного тиску і пульсаційної складової, яка описується за допомогою спектра Давенпорта. Дослідження сукупності реалізацій замінюється дослідженням однієї достатньо довгої реалізації. На основі методу статистичного моделювання будується реалізація випадкового процесу. Графік коливань системи будується як сума гармонічних коливань різної частоти з відповідною інтенсивністю і стохастичною початковою фазою.

Досліджується динамічна реакція пластинчато-стрижневої просторової системи, що представляє собою альтернативну конструкцію пілона мосту. В м. Салехарді у Росії збудовано міст, загальний вигляд якого показано на рис. 1 [3]. Автошляховий міст з двома смугами проходить через річку Шайтанку і пов'язує центральний район міста з аеропортом. Проект мосту розроблений Проектним Бюро АТ Мостобуд (м. Київ). Пілон має нахил у бік головного прогону, що обумовлено архітектурними міркуваннями – пілон символізує руку, що підняла факел. На верхівці пілона розташовано ресторан, до якого ведуть ліфти, обладнані ззовні ніг пілона, і сходи, розташовані всередині ніг пілона. Нога пілона має прямокутний коробчастий переріз. Вивчається можливість застосування пілона, побудованого зі стрижневих елементів, замість пілона суцільного коробчатого перерізу.

Основні конструктивні характеристики було збережено. Ноги пілона мають квадратний поперечний переріз 3,5х3,5 м. Відносно повздовжньої осі моста пілон защемлений в опорі, відносно поперечної осі має шарнірне обпирання. Вгорі під рестораном ноги пілона поєднано ригелем. Ресторан розташовано на відстані 50 м від шарніру. Складними вузлами є обпирання пілону на шарнір і поєднання пілону з ригелем. При створенні стрижневої конструкції вважалось, що ці елементи збережено такими, як в оригінальній конструкції. Обпирання пілона було виконано на литі шарніри за рахунок системи діафрагм, висотою 2,5 м, товщиною 40мм. Шарніри допускають поворот на $\pm 20^\circ$, що дозволяє вести монтаж у вертикальному положенні.

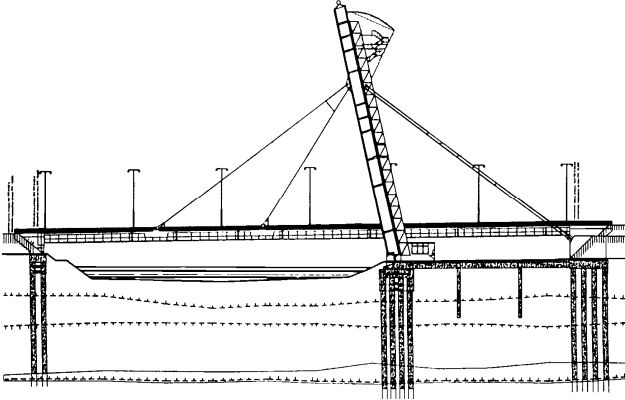


Рис. 1. Загальний вигляд мосту

Розроблено просторову стрижневу конструкцію, показану на рис. 2. Такий варіант споруди дозволить використовувати стандартні елементи, спростить ремонт ліфтового обладнання, зробить перебування на сходах більш комфортним.

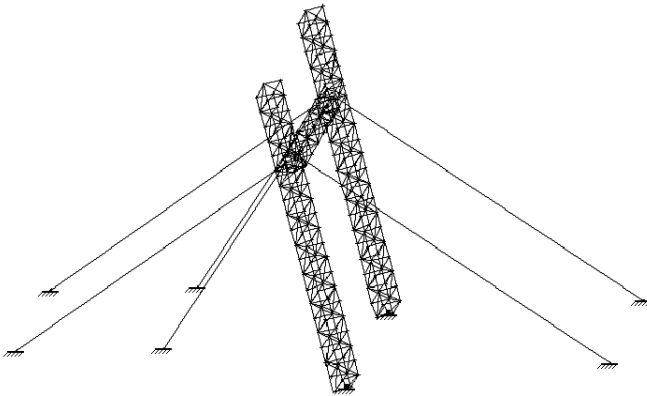


Рис. 2. Стрижнева конструкція пілона

Розрахунки стрижневого пілона здійснено у програмному комплексі “Ліра”. Навантаження, що діє на пилон, показане на рис. 3, складається з власної ваги конструкції пілона, ваги ресторану і додаткових зусиль від натягу вант. Звичайно за допомогою натягу вант зменшують прогин головного прольоту мосту. Пилон звичайно розташований або вертикально, або нахилений від головного прольоту, щоб своєю вагою

підтримувати головний прогін. В даному випадку задача ускладнюється і берегові ванти повинні витримувати натяг руслових вант і підтримувати пілон.

Значне навантаження створює вітровий потік впоперек мосту. Внаслідок великої підвітряної площі ресторану вітрове навантаження грає визначальну роль у конструюванні пілона.

За допомогою “ЛИР-СТК” було підібрано стрижневі елементи конструкції. Було розглянуто декілька варіантів решітки, при різних перерізах елементів. Кутові елементи прийняті у вигляді труб розміром 299x20, решта – труби 168x18.

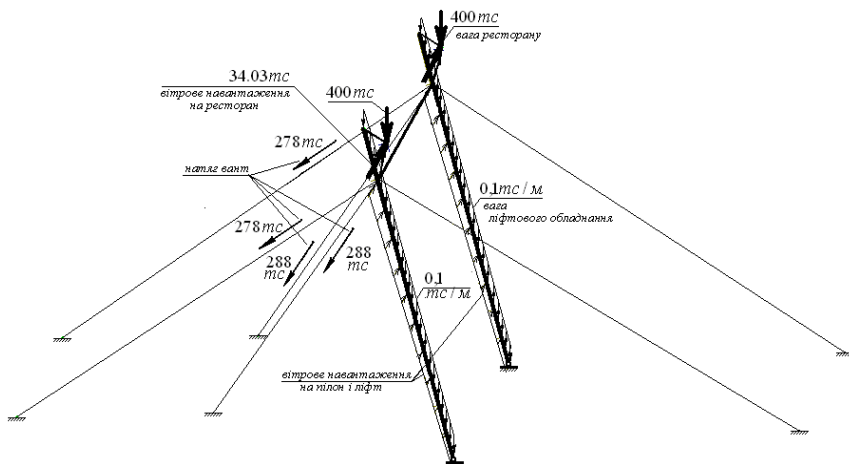


Рис.3. Навантаження на пілон

Значне навантаження створює вітровий потік впоперек мосту. Внаслідок великої підвітряної площі ресторану вітрове навантаження грає визначальну роль у конструюванні пілона. Під час розрахунків споруд на вітрове навантаження приймається, що дія вітрового потоку складається з певного усталеного тиску, викликаного постійною складовою швидкості вітру, та випадкових пульсацій, що виникають внаслідок турбулентного характеру вітрового потоку, тобто на постійну складову швидкості вітру накладаються нерегулярні пульсаційні складові (пориви), що викликають вимушені коливання споруди в напрямку швидкості потоку [1]

$$\vec{v}(z, t) = \bar{\vec{v}}(z) + v'(z, t), \quad (1)$$

де $\bar{v}(z)$ – середня постійна складова швидкості, $v'(z, t)$ – пульсацій на складова швидкості вітру на висоті z .

Тиск w повітряного потоку, що рухається зі швидкістю v , у деякій точці визначається рівнянням Бернуллі

$$w = 0.5 \cdot \rho \cdot v^2, \quad (2)$$

де ρ – щільність повітря, за звичайних умов $\rho = 1.25 \text{ кг/м}^3$.

Згідно зі стандартом [4], розрахункове значення середньої складової вітрового тиску на висоті z над поверхнею землі визначається за формулою

$$w_m^{позр.}(z) = w_m^{норм.} \cdot \gamma_f, \quad w_m^{норм.}(z) = w_0 \cdot k(z), \quad (3)$$

де γ_f – коефіцієнт надійності за навантаженням, $\gamma_f = 1.3$; w_0 – нормативний швидкісний напір вітру на висоті 10 м над поверхнею землі, для даного випадку $w_0 = 4.7088 \text{ Па}$; $k(z)$ – коефіцієнт, що враховує зміну швидкості напору з висотою. Значення усталеної складової вітрового тиску на висоті 50 м складає:

$$w_m^{позр.}(50) = 1.3 \cdot 4.7088 \cdot \left(\frac{50}{10}\right)^{0.3} = 9,9203 \text{ Па}. \quad (4)$$

Пульсаційну складову вітрового тиску можна визначити за допомогою спектра Давенпорта [1]

$$G(\omega) = \frac{2}{3} \cdot \frac{(2\pi)^{2/3} \cdot 1200 \cdot \bar{V}_0^{2/3} \cdot \omega}{\left(\left(2\pi\bar{V}_0\right)^2 + (1200 \cdot \omega)^2\right)^{4/3}}, \quad (5)$$

де \bar{V}_0 – швидкість вітру на висоті 50 м, $\bar{V}_0 = 3.984 \text{ м/с}$. Графік спектра Давенпорта показано на рис. 4.

Даний процес є ергодичним, а в такому випадку дослідження сукупності реалізацій можна замінити дослідженням однієї, але достатньо довгої реалізації. На базі методу статистичного моделювання будеється реалізація випадкового процесу. В кожен момент часу значення навантаження визначається як сума гармонік, амплітуда яких залежить

від спектральної щільності процесу, а фаза є рівномірно розподіленим випадковим процесом.

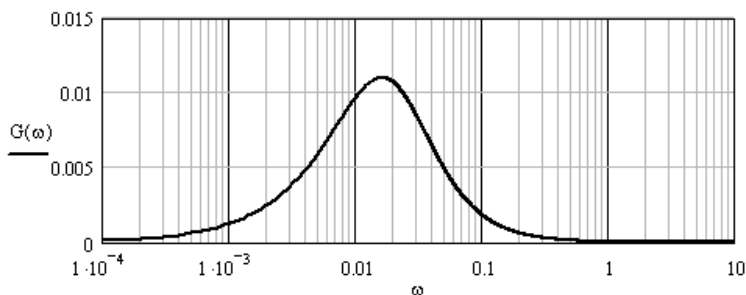


Рис.4. Спектр Давенпорта

Реалізацію даного процесу можна отримати методом статистичного моделювання за допомогою виразу [2]

$$p(t) = \sum_{i=1}^n \cos(\omega_i \cdot t + \delta_i) \cdot \sqrt{2G(\omega_i)\Delta\omega_i}, \quad (6)$$

де δ_i – випадковий процес, рівномірно розподілений на інтервалі від 0 до 2π , $G(\omega_i)$ – спектр Давенпорта, $\Delta\omega_i$ – крок зміни колової частоти, ω_i – i -те значення колової частоти.

Для моделювання використовується програмний комплекс MathCad. Графік випадкового процесу зображений на рис. 5.

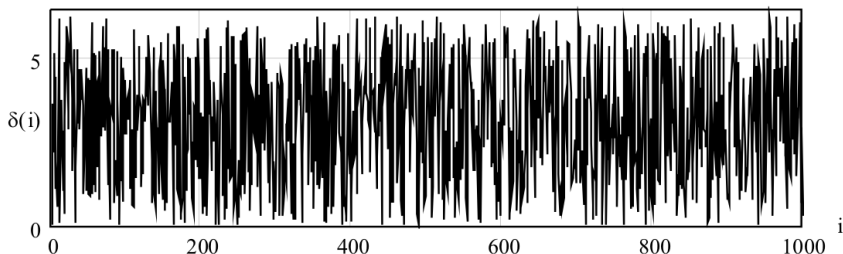


Рис. 5. Графік випадкової початкової фази

Виконавши обчислення за допомогою виразу (6), отримується реалізація випадкового динамічного навантаження (рис. 6).

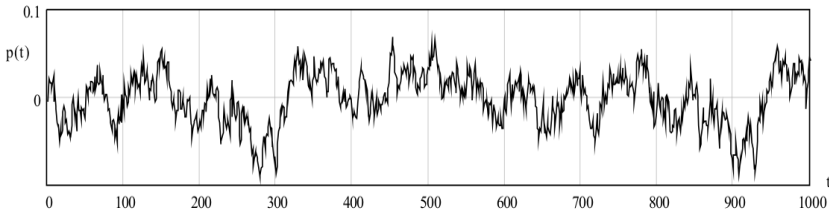


Рис. 6. Графік випадкового динамічного навантаження

Для визначення реакції системи на таке навантаження виконуються розрахунки в програмному комплексі Ліра на гармонічне навантаження. Інтенсивність навантаження приймається одиничною, а діапазон розрахункових частот від 0 до 2 рад/с з кроком 0,05 (в цьому діапазоні спектр Давенпорта приймає найбільші значення). Потім отримані гармоніки помножуються на відповідні амплітуди виразу (6) і сумуються. Отриманий графік переміщень показаний на рис. 7.

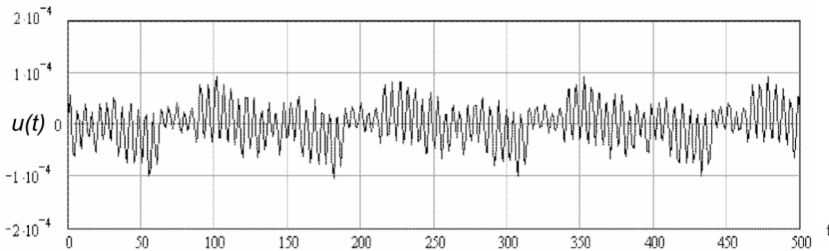


Рис.7. Реакція системи на вітрове навантаження

Розрахунок показав, що при швидкостях вітру, передбачених нормативними документами, переміщення від статичної і стохастичної складових не перевищують допустимі. Можна зробити висновок, що така конструкція може бути створена, для чого потрібно проводити подальші розрахунки і розробки вузлів конструкції.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Баженов В.А., Дехтярюк Є.С.* Імовірнісні методи розрахунку конструкцій. Випадкові коливання пружних систем: Навчальний посібник. – К.: КНУБА, 2005. – 420 с.
2. *Диментберг М.Ф.* Случайные процессы в динамических системах с переменными параметрами. – М.: Наука, 1989. – 175с.
3. *Корнеев М.М.* Стальные мосты: теоретическое и практическое пособие по проектированию. – К.: 2003. – 547с.

4. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия/Госстрой СССР. — М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. - 36 с.

Отримано 08.06.09

Исследуется влияние стохастического характера ветровой нагрузки на колебания пластинчато-стержневой конструкции. Ветровая нагрузка представляется как сумма постоянного давления и пульсационной составляющей, которая описывается с помощью спектра Давенпорта. Исследования совокупности реализаций заменяется исследованием одной достаточно длинной реализации. На основании метода статистического моделирования строится реализация случайного процесса. График колебаний системы строится как сумма гармонических колебаний разной частоты с соответствующей интенсивностью и случайной начальной фазой.

The effect of wind load stochastic character on construction oscillation is studied. Wind load is constitute of two parts: constant pressure and pressure pulsation. Last one describe by Davenport spectrum. Analysis sum of realization replace by analysis of one rather long realization. Compilation of stochastic process realization is based on using the statistical modeling method. Construction oscillation diagram is made as sum of different frequency harmonic oscillation with adequate intension and stochastic starting phase.