

УДК 539.3

О.В. Геращенко, канд.техн.наук

АНАЛІЗ МІЦНОСТІ ТА ДЕФОРМАТИВНОСТІ ПІЛОНА ІНФОРМАЦІЙНОГО НОСІЯ ПРИ ДІЇ ВІТРОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Проведено аналіз міцності та деформативності пілона на дію вітрового навантаження. Зроблені висновки щодо несучої здатності пілона.

Вступ. Розробці методики розрахунку баштових споруд на динамічну дію вітру присвячені праці М.Ф. Барштейна [2], а A. Davenport та G. Solary є розробниками методики розрахунку споруд на дію вітру, що покладені в основу загальноєвропейських норм [6].

Загальні принципи нормування вітрових впливів на конструкції кардинально змінилися з введенням в дію нового українського нормативного документа [5]. Ці зміни обумовлені уточненням розрахункових значень навантажень та прагненням покращити вітчизняну нормативну базу і наблизити її до системи стандартів Eurocode.

В універсальних програмних комплексах розрахунок металевих конструкцій пов'язаний з проблемою їх коректного моделювання при створенні розрахункової моделі. В сучасних пакетах автоматизованого проектування недостатньо висвітлена теоретична база розрахунку споруд на вітрове навантаження, що ускладнює їх використання проєктувальниками. Також відчувається нестача публікацій, присвячених практичним прийомам побудови розрахункових моделей з використанням методу скінченних елементів.

Розрахунок НДС пілона на вітровий тиск виконаний за допомогою програмного комплексу SCAD 11.3 відповідно до діючих нормативних документів [5, 6]. Висота даної конструкції набагато перевищує ширину і розміри основи в плані. Маса електричного обладнання незначна у порівнянні з власною вагою конструкції. Вклад у напружено-деформований стан конструкції власної ваги і маси електрообладнання є другорядним у порівнянні з вітровим навантаженням. Таким чином, основний вплив на споруду чинить тиск вітру, що відноситься до тимчасового короткотривалого навантаження.

Вітровий тиск є істотно динамічним навантаженням, оскільки швидкість вітру та його напрямок є змінними величинами. При

коливаннях від дії вітру внаслідок пружних властивостей споруди в її елементах виникають сили інерції, які впливають на напружено-деформований стан. У залежності від співвідношення між частотами власних коливань споруди і частотою пульсації вітру в ній можуть виникнути випадки, близькі до резонансу, що призведе до значного збільшення зусиль, напружень і переміщень в елементах споруди.

§1. Побудова скінченноелементної моделі пілона. Пілон має стійку довжиною 12 м коробчатого перетину 300 x 300 мм завтовшки 5 мм, виготовлену зі сталі марки Ст 3 з наступними механічними характеристиками: $R_y=210$ МПа, $E=206$ ГПа, $\mu = 0,3$. На відмітках 11.066 м і 12 м встановлено інформаційні щити із заданими геометричними параметрами: нижній щит вагою 60 кг має розміри 1,44x0,634x0,695 м, верхній щит вагою 150 кг – 1,44x1,248x0,695 м. Основою пілона є монолітна залізобетонна плита. Пілон жорстко затиснений у фундаментній плиті.

В якості скінченноелементної моделі пілона (рис. 1) приймався консольний жорстко затиснений стержень довжиною 12 м. Стійка змодельована стержневими скінченними елементами. Щити представлялися у вигляді розбиття на плоскі оболонкові чотирикутні елементи, товщина яких визначалася залежно від їх маси і прийнятого типу матеріалу Ст 3. Для нижнього щита задана товщина 1,62 мм, для верхнього – 2,61 мм. Граничні умови приймалися у вигляді затискання нижнього вузла стійки на нульовій відмітці.

§2. Розрахункова схема пілона. Вітровий потік представлений у вигляді сумісної дії постійного (статична складова) і динамічного тиску (пульсаційна складова) відповідно до [5]. Для заданого району розташування (м. Київ) величина взята для 1-го вітрового району, типу місцевості IV.

Статична складова вітрового навантаження прийнята у вигляді розподіленого навантаження на стійку пілона $q_1 = 0,168$ кН/м та на інформаційні щити – $q_2 = 0,56$ кН/м² (рис. 2,а). Результати розрахунку на статичну дію вітру приведені на рис. 2,б і в.

Згинальний момент має максимальне значення $M=28,849$ кНм в нижньому вузлі пілона, максимальне переміщення становить 82 мм - у верхній частині пілона на висоті 13,248 м.

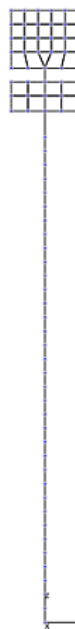


Рис. 1. Скінченно-елементна модель пілона

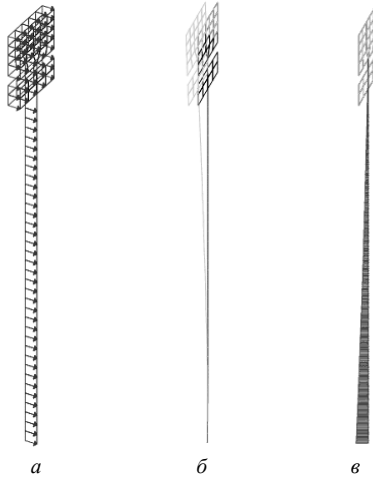


Рис. 2. Розрахунок пілона на статичну складову вітрового навантаження:
 а) статична складова навантаження, б) епюра прогинів, в) епюра згинальних моментів

Деформування пілона відбувається у площині мінімальної жорсткості. Пульсаційна складова вітру моделювалася за допомогою комплексу SCAD 11.3. Нормативне значення пульсаційної складової вітрового навантаження визначається в залежності від динамічних характеристик (власних частот, ступенів свободи і коефіцієнта внутрішнього тертя) споруди.

Постійне навантаження від власної ваги перетворено в маси. Визначено власні частоти та форми коливань пілона. Перша частота власних коливань склала $\nu_1=1,404$ Гц.

Максимальний згинальний момент від пульсації вітру має значення $M=69,797$ кНм в нижньому вузлі пілона (рис. 3,б), максимальне переміщення становить 208 мм - у верхньому вузлі пілона на висоті 13,248 м (рис. 3,а).

Результати розрахунку пілона на спільну дію статичної і пульсаційної складових вітру представлені в табл. 1 і на рис. 4.

Таблиця 1

Результати розрахунку на сумісну дію статичної та пульсаційної складових вітрового навантаження

Варіант розрахунку	Мінімальна власна частота, Гц	Максимальний прогин, мм	Максимальний згинальний момент, кНм	Максимальне напруження, МПа
Основний	1,404	289	98, 646	173

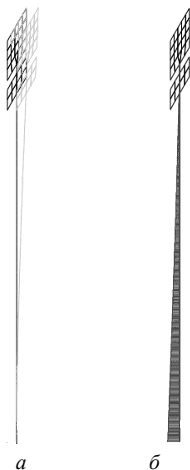


Рис. 3. Розрахунок пілона на пульсаційну складову вітрового навантаження: а) еюра прогинів, б) еюра згинальних моментів

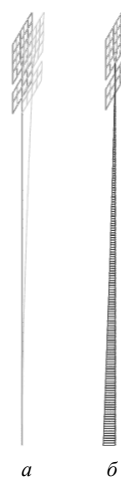


Рис. 4. Розрахунок пілона на сумісну дію статичної та пульсаційної складових вітрового навантаження: а) еюра прогинів, б) еюра згинальних моментів

Максимальне напруження від дії вітру визначено з виразу:

$$\sigma_{\max} = M/W_z = M \cdot z/J_z = 98,646 \cdot 0,15 / (8559,92 \cdot 10^{-8}) = 173 \text{ МПа.}$$

З метою перевірки електрообладнання на міцність визначено прискорення верхньої точки пілона з рівняння:

$$a = A\omega^2 \sin\omega t,$$

де A - амплітуда, що приймалася рівної максимальному відхиленню верхньої точки пілона під дією вітрового навантаження; ω - кругова частота коливань, визначена за формулою

$$\omega = 2\pi v_1 = 6,28 \cdot 1,404 = 8,822 \text{ рад/с.}$$

Максимальне значення прискорення верхньої точки пілона становить

$$a_{\max} = 0,289 \cdot 8,822^2 = 22,5 \text{ м/с}^2 = 2,23g.$$

Висновок: В результаті розрахунку пілона на вітровий вплив, видно, що максимальне напруження 173 МПа не перевищує розрахункового опору сталі Ст 3 ($R_y = 210 \text{ МПа}$). Однак, відхилення верхньої точки пілона при максимальному вітрі становить 289 мм, що більш ніж в три рази перевищує допустиме нормами відхилення $13248/150 = 88 \text{ мм}$ (табл. 47, [9]). Особливо небезпечним є прискорення верхньої точки пілона, яке породжує великі значення сили інерції, що впливають на електрообладнання. Виходячи з отриманих результатів розрахунку

пілона, потрібне збільшення моменту інерції його поперечного перерізу не менш ніж в три рази ($8559,92 - 3 = 25679,76 \text{ см}^4$).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Розин Л.А. Стержневые системы как системы конечных элементов. -Л.:Изд-во ЛГУ, 1976. -232с.
2. Динамический расчет сооружений на специальные воздействия/ М. Ф. Барштейн, Н. М. Бородачев, Л. Х. Блюмина и др.; Под ред. Б. Г. Коренева, И. М. Рабиновича. — М.: Стройиздат, .1981.—215 с.
3. Кінаш Р.І., Бурнасв О.М. Вітрове навантаження і вітроенергетичні ресурси в Україні. Монографія. - Львів: вид. науково-технічної літератури, 1998. - 1152 с.
4. Пичугин С.Ф., Махинько А.В. Ветровая нагрузка на строительные конструкции. – Полтава, 2005 - 342 с.
5. ДБН В.1.2-2:2006 „Навантаження і впливи”. К.,2006.
6. ДБН-В.1.1-12:2006. Будівництво в сейсмічних районах України. К.,2006.
7. EN 1991-1-4:2005+A1 Eurocode 1: Action on Structures – General Actions – Part 1-4: Wind Actions.– Brussels: CEN TC 250, 2005. – 148 p.
8. ENV 1993-3-1:2006 Eurocode 3: Design of steel structures – Part 3-1: Towers, masts and chimneys – Towers and masts, 2006. – 84 p.
9. СНиП II-23-81* Стальные конструкции.

Стаття надійшла до редакції 21.12.2012 р.

Геращенко О.В.

АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ И ДЕФОРМАТИВНОСТИ ПИЛОНА ИНФОРМАЦИОННОГО НОСИТЕЛЯ ПРИ ДЕЙСТВИИ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ

Проведен аналіз прочності і деформативності пілона на действие ветрової навантаження. Сделаны выводы о несущей способности пилон.

Gerashchenko O.V.

STRENGTH AND DEFORMABILITY OF THE INFORMATION MEDIA PYLON UNDER WIND LOADING ANALYSIS

Strength and deformability analysis of the pylon under action of wind loading was held. The conclusions about the carrying capacity of the pylon was made.