

УДК 69+624.042.4

Порівняльний аналіз вітрового навантаження на металеві башти за СНиП 2.01.07-85 "Нагрузки и воздействия" та ДБН В.1.2-2:2006 "Навантаження і впливи"

Семко О.В., д.т.н., Махінько Н.О., аспірант

Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка,
Україна

Анотація. У даній роботі наведені пропозиції щодо вирішення проблеми знаходження вітрових навантажень на баштові споруди шляхом раціонального поєднання методики СНиП 2.01.07-85 із методологічними принципами опису вітрового навантаження у ДБН В.1.2-2:2006 та Eurocode 1. На основі дослідженого виконана серія розрахунків металевих ґратчастих башт, відповідно до методу, який пропонується, та СНиП 2.01.07-85, з наступним порівнянням значень статичної та пульсаційної складової вітрового навантаження, а також коефіцієнтів висоти споруди, пульсації та динамічності.

Аннотация. В данной работе приведены предложения относительно решения проблемы нахождения ветровых нагрузок на башенные сооружения путем рационального сочетания методики СНиП 2.01.07-85 с методологическими принципами описания ветровой нагрузки в ДБН В.1.2-2:2006 и Eurocode 1. На основе исследованного выполнена серия расчетов металлических решетчатых башен, в соответствии с методом, который предлагается, и СНиП 2.01.07-85, со следующим сравнением значений статической и пульсационной составляющей ветровой нагрузки, а также коэффициентов высоты сооружения, пульсации и динамичности.

Abstract. In this scientific paper the proposals are cited to solve the problem of determination of wind loadings influencing the tower-type installations by means of the method of rational combination of SNiP 2.01.07-85 with methodological principles of wind load description given in DBN B.1.2-2:2006 and Eurocode 1. On the basis of the investigation several calculations of the metallic latticed towers are executed in accordance with the offered method and SNiP 2.01.07-85, with further comparison of static values and wind load pulsation component, as well as coefficients of building height, pulsation and dynamicness.

Ключові слова: вітрове навантаження, металеві ґратчасті башти, коефіцієнт висоти споруди, коефіцієнт пульсації, коефіцієнт динамічності.

Вступ. Згідно з чинним ДБН В.1.2-2:2006 для визначення пульсаційної складової вітрового навантаження на сталеві ґратчасті башти передбачається виконання спеціальних динамічних розрахунків, процедура проведення яких не наводиться. Для вирішення цієї проблеми пропонується пов'язати методику динамічного розрахунку баштових споруд, яку передбачає СНиП 2.01.07-85, із європейськими нормами Eurocode 1 (ДБН В.1.2-2:2006). Запропонований метод є досить зручним, оскільки пропонує використовувати для динамічної складової вітрового навантаження таку саму процедуру обчислення, як і в СНиП 2.01.07-85. Різницю

становлять лише формули для визначення коефіцієнтів, що застосовуються у розрахунку і є повністю узгодженими з діючим ДБН В.1.2-2:2006. Ця відмінність викликана головним чином тим, що при обчисленні був застосований логарифмічний закон зміни швидкості вітру за висотою та спектр Соларі, які використані у ДБН В.1.2-2:2006

У зв'язку з цим цікаво провести порівняння розрахункових навантажень за методом, який пропонується, та СНиП 2.01.07-85 для баштових споруд різної висоти.

На підставі сформульованої мети виконана серія розрахунків металевих ґратчастих башт відповідно до окреслених методик та порівняння значень статичної і пульсаційної складової вітрового навантаження, повного вітрового навантаження, а також коефіцієнтів висоти споруди, пульсації та динамічності.

Числова оцінка розрахункових навантажень та показників дає змогу визначити раціональність застосування нового підходу та оцінити обґрунтованість значень вітрового навантаження у ДБН В.1.2-2:2006 "Навантаження і впливи".

Статична складова вітрового навантаження. При визначенні вітрового навантаження за ДБН В.1.2-2:2006 "Навантаження і впливи", граничне розрахункове значення W_m одночасно враховує вплив як статичної, так і пульсаційної складової швидкості вітру

$$W_m = \gamma_{fm} \cdot W_0 \cdot C, \quad (1)$$

де γ_{fm} – коефіцієнт надійності за граничним розрахунковим значенням вітрового навантаження; W_0 – характеристичне значення вітрового тиску.

Оскільки, у запропонованій методиці збору вітрових навантажень на металеві ґратчасті башти передбачається їх роздільне визначення, необхідно вилучити пульсаційну частку із розрахунку, залишивши решту розрахунків незмінними.

Пульсаційна складова вітрового навантаження при визначенні повного розрахункового навантаження враховується шляхом введення як множника коефіцієнта динамічності C_d , при знаходженні коефіцієнта C .

$$C = C_{aer} \cdot C_h \cdot C_{alt} \cdot C_{rel} \cdot C_{dir} \cdot C_d, \quad (2)$$

де C_{aer} – аеродинамічний коефіцієнт; C_h – коефіцієнт висоти споруди; C_{alt} – коефіцієнт географічної висоти; C_{rel} – коефіцієнт рельєфу; C_{dir} – коефіцієнт напрямку.

Окрім цього вплив пульсацій на висоті z передбачається при розрахунку коефіцієнта висоти споруди C_h [2]

$$C_h(z) = q_p(z) / q_b = [1 + 7I_{v'}(z)] \cdot c_r^2(z), \quad (3)$$

де $q_p(z)$ – максимальний швидкісний напір на висоті z ; q_b – середній швидкісний напір вітру на висоті $z = 10$ м; $I_{v'}(z)$ – інтенсивність турбулентності для поздовжніх пульсацій швидкості вітру; $c_r^2(z)$ – коефіцієнт, який визначає вертикальний профіль швидкості вітру на висоті z [2]:

$$c_r(z) = k_r \ln(z / z_0). \quad (4)$$

Вилучивши з формули (3) множник $I_{v'}(z)$, отримаємо вираз для розрахунку коефіцієнта висоти споруди без урахування пульсаційної складової швидкості вітру:

$$C_h(z) = k_r^2 \ln^2(z / z_0). \quad (5)$$

Остаточна формула для визначення статичної складової вітрового навантаження відповідно до ДБН В.1.2-2:2006 [1] запишеться у виді:

$$W_m^c = \gamma_{fm} \cdot W_0 \cdot C^c, \quad (6)$$

де коефіцієнт C^c визначається за формулою

$$C^c = C_{aer} \cdot C_h \cdot C_{alt} \cdot C_{rel} \cdot C_{dir}. \quad (7)$$

Визначення решти коефіцієнтів необхідно здійснювати відповідно до вказівок нормативного документа [1].

Динамічна складова вітрового навантаження. Відповідно до запропонованої методики для визначення вітрового навантаження на металеві гратчасті башти передбачається окреме знаходження динамічної складової вітрового навантаження. Для цього буде застосовуватися звичний алгоритм розрахунку за СНиП 2.01.07-85, але з використанням нових значень коефіцієнтів пульсації, динамічності та просторової кореляції, для яких пропонується застосовувати наступні формули.

Коефіцієнт пульсацій $\zeta(z)$ тиску вітру відповідно до запропонованої методики розрахунку описується виразом [3]:

$$\zeta_E(z) = 7 / \ln(z / z_0), \quad (8)$$

де z_0 – параметр шорсткості поверхні землі.

Для квадрата коефіцієнта динамічності $\xi_{i,k}$ використовується формула [3]

$$\xi_{i,k}^2 = 2A_z \int_0^{\infty} \frac{\varepsilon^3 d\varepsilon}{\left(1 + \frac{B_z}{\varepsilon}\right)^{2/3} \cdot D}, \quad (9)$$

де $D = (\varepsilon + B_z) \left[\varepsilon^4 - 2(1 - \gamma^2/2) \varepsilon_{i,k}^2 \varepsilon^2 + \varepsilon_{i,k}^4 \right]$; $\gamma = \delta/\pi$; δ – логарифмічний декремент коливань; $\varepsilon(z_k, n_i) \equiv \varepsilon_{i,k}$ – безрозмірний період; $A_z = 6,868$; $B_z = 10,302$ – задані константи.

Числові значення для коефіцієнта динамічності можна отримати за контурною поверхнею (рис. 1), яка з невеликим запасом характеризує зміну коефіцієнта динамічності для будь-якого типу місцевості та довільного значення швидкісного напору в межах території України, залежно від власної частоти коливань та висоти металевої ґратчастої башти. На наведеному рисунку добре видно вплив на коефіцієнт динамічності таких параметрів, як висота H , шорсткість поверхні землі z_0 і власна частота коливань конструкції n_i .

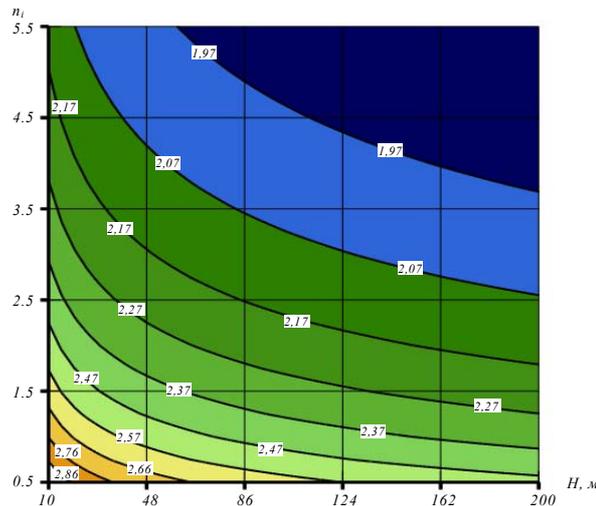


Рис. 1. Представлення коефіцієнта динамічності у вигляді контурного зображення відповідно до запропонованої методики до ДБН В.1.2-2:2006

На рис. 2 за аналогією до СНиП 2.01.07-85 зображені графіки коефіцієнта динамічності як функції безрозмірного періоду для значень $\delta = 0,15$ та $\delta = 0,3$.

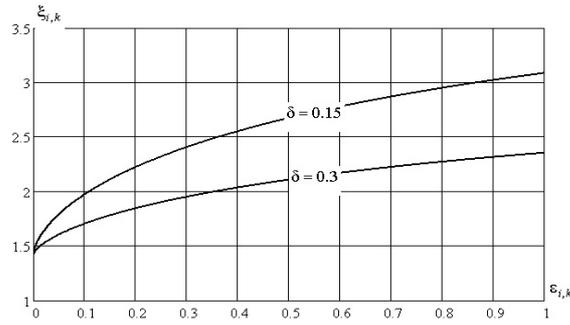


Рис. 2. Представлення коефіцієнта динамічності як функції безрозмірного періоду

При значенні логарифмічного декременту $\delta = 0,15$, обчислити коефіцієнт динамічності можна за апроксимованою формулою

$$\xi_{i,k} = 0,667 \cdot \ln(\varepsilon_i + 0,106) + 3,011. \quad (10)$$

При використанні спектра Соларі і логарифмічного закону для опису вертикального профілю швидкості вітру коефіцієнт просторової кореляції v_j запишеться у виді:

$$v_j(\varepsilon_{1,j}) = \frac{\int_0^\infty \left[\frac{\int_0^H \int_0^H E \cdot coh_{u'}(z_1, z_2, n) dz_1 dz_2}{\left[1 - \left(\frac{n}{n_1} \right) \right]^2 + \gamma^2 \left(\frac{n}{n_1} \right)^2} \right] dn}{\int_0^\infty \left[\frac{\int_0^H \int_0^H E dz_1 dz_2}{\left[1 - \left(\frac{n}{n_1} \right) \right]^2 + \gamma^2 \left(\frac{n}{n_1} \right)^2} \right] dn}, \quad (11)$$

$$\text{де } E = \ln\left(\frac{z_1}{z_0}\right) \ln\left(\frac{z_2}{z_0}\right) z_1^2 z_2^2 S_{u'}(z_1, n) \sqrt{\frac{S_{u'}(z_2, n)}{S_{u'}(z_1, n)}};$$

$S_{u'}(\bullet)$ – нормований спектр Соларі для поздовжньої компоненти швидкості вітру; n_i – i -частота власних коливань конструкції; $coh_{u'}(z_k, z_m, n)$ – функція когерентності, яка описує просторовий розподіл поривів вітру та характеризує кореляцію поривів між двома точками z_k і z_m в просторі для заданої частоти.

Визначення коефіцієнта просторової кореляції за формулою (11) досить складне та незручне, тому були обчислені значення цього коефіцієнта для різних значень висоти споруди h , середнього швидкісного напору w_0 та логарифмічного декременту коливань δ . Отримані результати були зведені в табл. 1. Для проміжних значень змінних величин коефіцієнт просторової кореляції пропонується знаходити лінійною інтерполяцією. Цей підхід нагадує процедуру визначення цього коефіцієнта у старій редакції СНиП II-6-74 "Нагрузки и воздействия".

Порівняння результатів розрахунку. Відповідно до зазначеного вище було виконано збір вітрового навантаження за СНиП 2.01.07-85 та запропонованою методикою для трьох металевих ґратчастих башт висотою 45 м, 60 м та 110 м. Згідно з класифікацією ДБН В.1.2-2:2006 "Навантаження і впливи" всі башти умовно приймалися розміщеними у місцевості типу "II", що відповідає сільській місцевості з невеликими спорудами та деревами. При визначенні вітрового навантаження характеристичне значення вітрового тиску обиралося рівним 500 Па (для II вітрового району). Період повторюваності вітрового навантаження приймався рівним $T=15$ років. На підставі пп. 9.14, 10.12 [1] період експлуатації башти назначався рівним середньому періоду повторюваності атмосферних навантажень.

При розрахунках за СНиП 2.01.07-85 для розглянутих башт був обраний тип місцевості "А". Нормативне значення вітрового тиску приймалося рівним 300 Па, що відповідає II вітровому району.

Розрахункова схема башти висотою 45 м (рис. 3,б) представлена у вигляді просторового призматичного стрижня, розбитого за висотою на 9 розрахункових полів (кількість розрахункових полів обрана рівною кількості монтажних секцій башти). Висота 1-го розрахункового поля 6,4 м, 2-го і 3-го – 4,8 м, 4 ÷ 7-го – 5,5 м, 8-го – 3,3 м, 9-го – 4,4 м. Пояси і решітка башти (розкоси, розпірки, горизонтальні діафрагми) виконані із одиночних кутиків за ГОСТ 8509-93. Ухил поясів башти постійний за її висотою до відм. +41,300 і складає $2,4^\circ$ до вертикалі. Сторона грані біля основи башти складає 2450 мм, сторона грані на верху башти 700 мм.

Металева башта висотою 60 м являє собою просторову чотиригранну ферму з поясами та решіткою з кутикового рівнополічкового профілю. Пояси верхньої секції (від відм. +50,4 м) виконані із безшовних гарячедеформованих труб за ГОСТ 8732-78. Розрахункова схема башти (рис. 4,б) складається з 16 розрахункових полів висотою 3,6 та 5,4 м (лише останнє розрахункове поле). Ширина основи башти складає 3990 мм, а ширина верху – 1650 мм.

Таблиця 1

n_1	Коефіцієнт V_j при $\delta = 0,15$ та висоті споруди h , м					
	50	75	100	125	150	200
$w_0 = 600$ Па						
0,1	0,88	0,84	0,81	0,78	0,755	0,715
0,5	0,68	0,64	0,605	0,585	0,57	0,55
1,0	0,63	0,60	0,585	0,575	0,57	0,57
1,5	0,62	0,60	0,595	0,59	0,58	0,58
2,0	0,62	0,613	0,61	0,60	0,60	0,60
Коефіцієнт V_j при $\delta = 0,3$ та висоті споруди h , м						
0,1	0,887	0,852	0,822	0,798	0,776	0,74
0,5	0,732	0,696	0,673	0,657	0,645	0,629
1,0	0,703	0,681	0,669	0,661	0,655	0,646
1,5	0,704	0,689	0,681	0,675	0,671	0,665
2,0	0,711	0,7	0,693	0,688	0,685	0,679
$w_0 = 500$ Па						
Коефіцієнт V_j при $\delta = 0,15$ та висоті споруди h , м						
0,1	0,869	0,828	0,794	0,766	0,741	0,7
0,5	0,672	0,628	0,601	0,581	0,567	0,548
1,0	0,625	0,6	0,586	0,577	0,57	0,562
1,5	0,622	0,606	0,598	0,592	0,589	0,584
2,0	0,628	0,617	0,612	0,609	0,606	0,603
Коефіцієнт V_j при $\delta = 0,3$ та висоті споруди h , м						
0,1	0,879	0,842	0,812	0,787	0,765	0,729
0,5	0,726	0,692	0,67	0,656	0,645	0,63
1,0	0,72	0,682	0,671	0,663	0,658	0,65
1,5	0,706	0,692	0,685	0,679	0,675	0,679
2,0	0,714	0,704	0,697	0,693	0,689	0,684
$w_0 = 400$ Па						
Коефіцієнт V_j при $\delta = 0,15$ та висоті споруди h , м						
0,1	0,857	0,814	0,779	0,749	0,724	0,683
0,5	0,661	0,620	0,595	0,577	0,565	0,548
1,0	0,623	0,600	0,588	0,580	0,574	0,567
1,5	0,623	0,610	0,603	0,598	0,595	0,591
2,0	0,632	0,623	0,618	0,615	0,613	
Коефіцієнт V_j при $\delta = 0,3$ та висоті споруди h , м						
0,1	0,868	0,83	0,799	0,773	0,751	0,715
0,5	0,719	0,687	0,668	0,654	0,645	0,631
1,0	0,702	0,684	0,674	0,667	0,662	0,655
1,5	0,708	0,696	0,689	0,684	0,681	0,675
2,0	0,718	0,708	0,703	0,698	0,695	0,682

Пояси і розпірки металевої башти заввишки 110 м виконані з труб за ГОСТ 8732-70 і розкосів із кутикових рівнополічкових профілів за ГОСТ 8509-72. Ухил поясів башти постійний по її висоті і складає 10 %. Сторона грані біля основи башти складає 12500 мм, сторона грані на верху башти складає 1500 мм. Розрахункова схема башти (рис. 5,б) являє собою просторовий призматичний стрижень, розбитий за висотою на 14 розрахункових полів. Висота 1–8 і 11–14 розрахункових полів прийнята рівній висоті монтажних секцій башти (7,5 м), висота 9 і 10 розрахункового поля призначена рівною 10,0 м.

Підіймання розглянутих металевих башт над нульовим рівнем приймалося 5 м.

Результати розрахунку в графічному вигляді наведені на рис. 3, 4, 5, а в процентному співвідношенні – таблицях 2, 3, 4.

Порівняння коефіцієнтів та навантажень, отриманих у відповідності з нормами [1] та [7], показало наступне. Для всіх розглянутих металевих башт значення коефіцієнтів, які враховують зміну вертикального профілю швидкісного напору $k_E(z)$ та $k(z)$, розрахованих відповідно до Eurocode 1, в середньому перевищують відповідні значення, обчислені за [7] на 5–6 %. Це є результатом використання в даних нормативних документах різних аналітичних законів для опису вертикального профілю швидкості вітру.

Коефіцієнт пульсацій тиску вітру на рівні z , обчислений за виведеною формулою (8), дає стійке перевищення в межах 41–43 % на всіх ділянках розрахункових полів металевих ґратчастих башт у порівнянні з результатами, знайденими за СНиП 2.01.07-85.

Коефіцієнт динамічності, розрахований за [7], характерно приймає сталі значення по висоті башти. Натомість для обчислених за отриманою формулою (10) або визначених за контурною поверхнею (рис. 1) коефіцієнтів для кожного з розрахункових полів розглядуваних металевих башт спостерігається тенденція до зменшення при відповідному зростанні висоти. В цілому коефіцієнти динамічності, знайдені за (10), перевищують відповідні величини, розраховані за СНиП 2.01.07-85 "Нагрузки и воздействия", на 22–37 %.

Загалом різниця у значеннях статичної складової вітрового навантаження, обчислених за ДБН [1] та розрахованих за [7], складає 3–10 %. Для динамічної складової вітрового навантаження цей показник змінюється в межах 44–51 %.

Порівняння повного вітрового навантаження, розрахованого за наведеними методиками, показало зміну в межах 6–31 % по висоті башти.

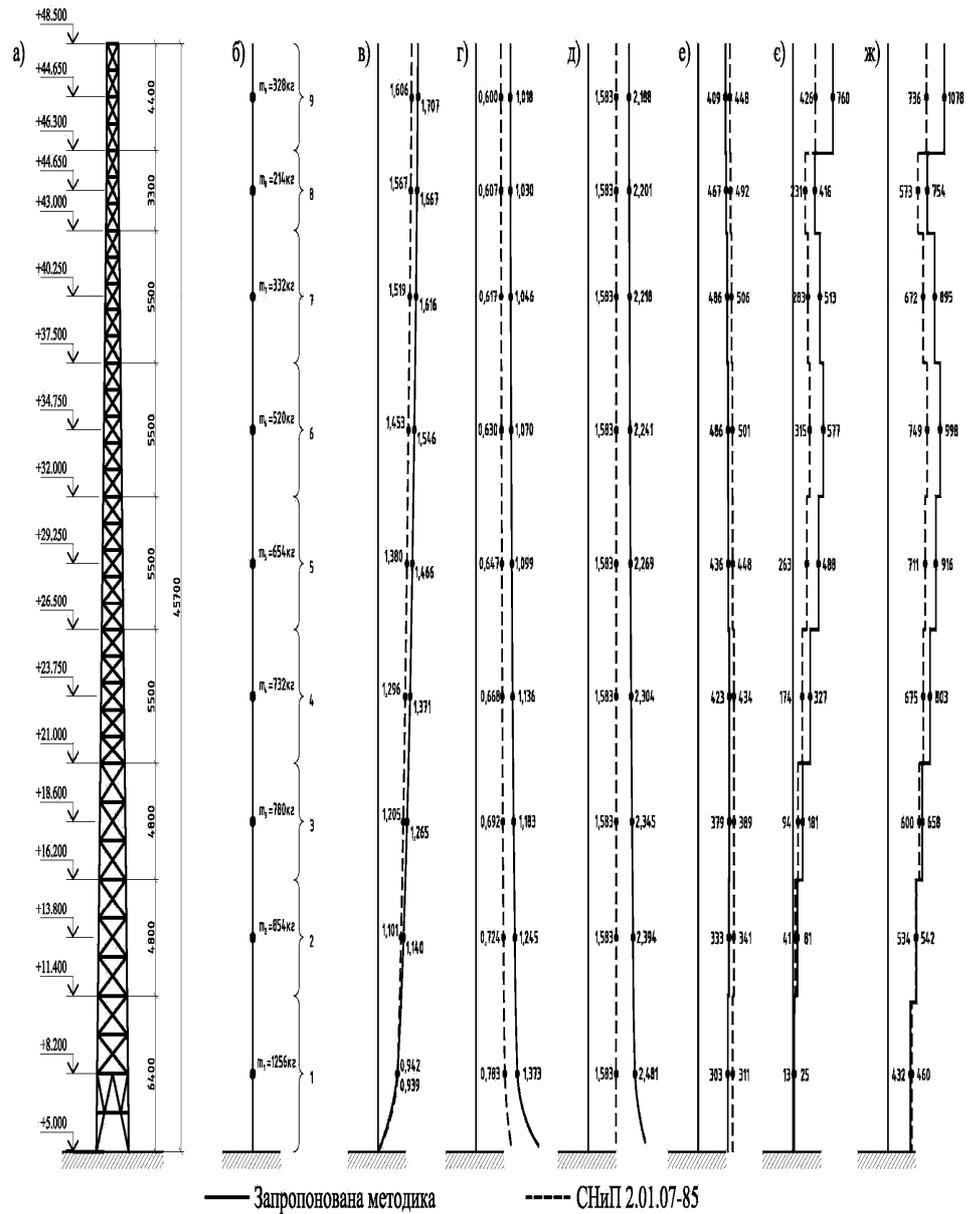


Рис. 3. а – МГБ висотою 45 м; б – розрахункова схема МГБ; в – коефіцієнти висоти; г – коефіцієнти пульсації; д – коефіцієнти динамічності; е – статична складова вітрового навантаження; є – динамічна складова вітрового навантаження; ж – повне вітрове навантаження

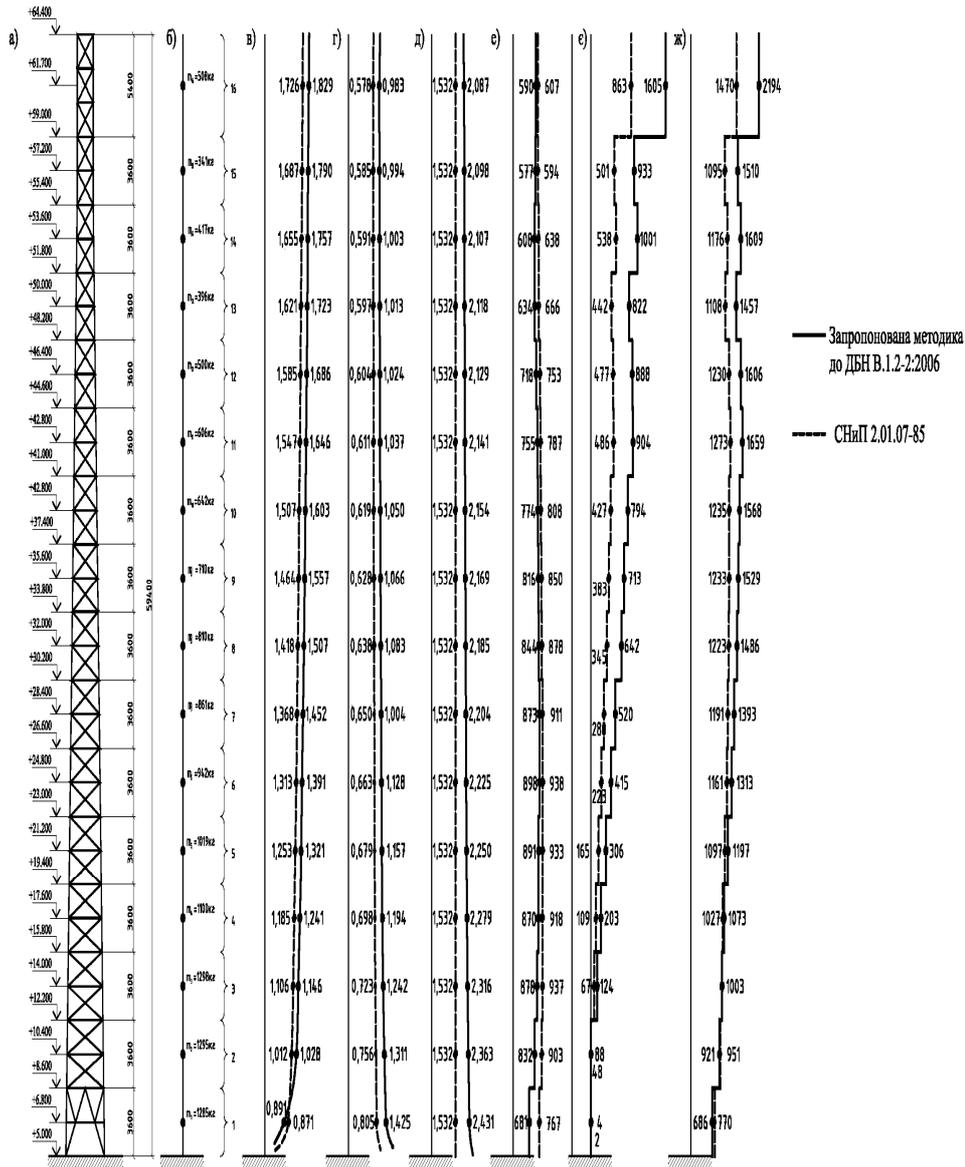


Рис. 4. а – МГБ висотою 60 м; б – розрахункова схема МГБ; в – коефіцієнти висоти; г – коефіцієнти пульсації; д – коефіцієнти динамічності; е – статична складова вітрового навантаження; є – динамічна складова вітрового навантаження; ж – повне вітрове навантаження

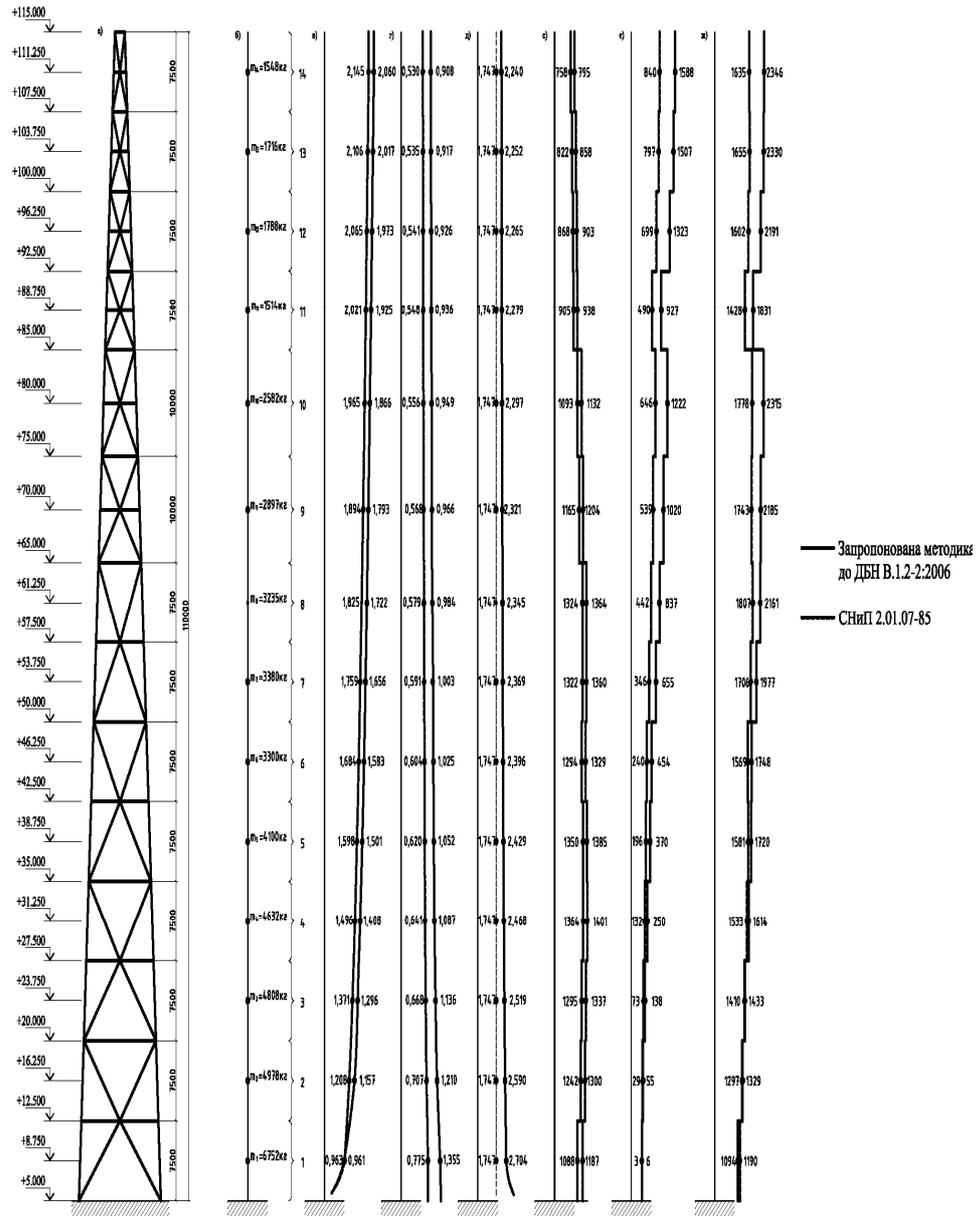


Рис. 5. а – МГБ висотою 110 м; б – розрахункова схема МГБ; в – коефіцієнти висоти; г – коефіцієнти пульсації; д – коефіцієнти динамічності; е – статична складова вітрового навантаження; є – динамічна складова вітрового навантаження; ж – повне вітрове навантаження

Таблиця 2

Башта висотою 45 м																			
№	z, м	C _h	k	Δ, %	ξ _{дбн}	ξ _{стп}	Δ, %	ξ _{дбн} (z)	ξ _{стп} (z)	Δ, %	Q ^c _{дбн} , Н/м	Q ^c _{стп} , Н/м	Δ, %	Q ^a _{дбн} , Н/м	Q ^a _{стп} , Н/м	Δ, %	Q _{дбн} , Н/м	Q _{стп} , Н/м	Δ, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	8,2	0,94	0,94	0	1,373	0,783	43	2,401	1,583	36	409	448	-10	25	13	51	432	460	-7
2	13,8	1,14	1,1	3	1,245	0,724	42	2,394	1,583	34	467	492	-5	81	41	49	542	534	2
3	18,6	1,26	1,2	5	1,183	0,692	41	2,345	1,583	32	486	506	-4	181	94	48	658	600	9
4	23,75	1,37	1,3	5	1,136	0,668	41	2,304	1,583	31	486	501	-3	327	174	47	803	675	16
5	29,25	1,47	1,38	6	1,099	0,647	41	2,269	1,583	30	436	448	-3	488	263	46	916	711	22
6	34,75	1,55	1,45	6	1,070	0,630	41	2,241	1,583	29	423	434	-3	577	315	45	998	749	25
7	40,25	1,62	1,52	6	1,046	0,617	41	2,218	1,583	29	379	389	-3	513	283	45	895	672	25
8	44,65	1,67	1,57	6	1,030	0,607	41	2,201	1,583	28	333	341	-3	416	231	44	754	573	24
9	48,5	1,71	1,61	6	1,018	0,600	41	2,188	1,583	28	303	311	-3	760	426	44	1078	736	32

Таблиця 3

Башта висотою 60 м																			
№	z, м	C _h	k	Δ, %	ξ _{дбн}	ξ _{стп}	Δ, %	ξ _{дбн} (z)	ξ _{стп} (z)	Δ, %	Q ^c _{дбн} , Н/м	Q ^c _{стп} , Н/м	Δ, %	Q ^a _{дбн} , Н/м	Q ^a _{стп} , Н/м	Δ, %	Q _{дбн} , Н/м	Q _{стп} , Н/м	Δ, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	6,8	0,87	0,89	-2	1,425	0,805	43	2,431	1,532	37	681	767	-13	5	2	53	686	770	-12
2	10,4	1,03	1,01	2	1,311	0,756	42	2,363	1,532	35	832	903	-9	98	48	51	921	951	-3
3	14	1,15	1,11	3	1,242	0,723	42	2,316	1,532	34	878	937	-7	134	67	50	1003	1003	0
4	17,6	1,24	1,18	5	1,194	0,698	42	2,279	1,532	33	870	918	-5	216	109	50	1073	1027	4
5	21,2	1,32	1,25	5	1,157	0,679	41	2,250	1,532	32	891	933	-5	322	165	49	1197	1097	8
6	24,8	1,39	1,31	6	1,128	0,663	41	2,225	1,532	31	898	938	-4	432	223	48	1313	1161	12
7	28,4	1,45	1,37	6	1,104	0,650	41	2,204	1,532	30	873	911	-4	536	280	48	1393	1191	15
8	32	1,51	1,42	6	1,083	0,638	41	2,185	1,532	30	844	878	-4	656	345	47	1486	1223	18
9	35,6	1,56	1,46	6	1,066	0,628	41	2,169	1,532	29	816	850	-4	723	383	47	1529	1233	19
10	39,2	1,60	1,51	6	1,050	0,619	41	2,154	1,532	29	774	808	-4	799	427	47	1568	1235	21
11	42,8	1,65	1,55	6	1,037	0,611	41	2,141	1,532	28	755	787	-4	905	486	46	1659	1273	23
12	46,4	1,69	1,58	6	1,024	0,604	41	2,129	1,532	28	718	753	-5	884	477	46	1606	1230	23
13	50	1,72	1,62	6	1,013	0,597	41	2,118	1,532	28	634	666	-5	814	442	46	1457	1108	24
14	53,6	1,76	1,65	6	1,003	0,591	41	2,107	1,532	27	608	638	-5	986	538	45	1609	1176	27
15	57,2	1,79	1,69	6	0,994	0,585	41	2,098	1,532	27	577	594	-3	915	501	45	1510	1095	27
16	61,7	1,83	1,73	6	0,983	0,578	41	2,087	1,532	27	590	607	-3	1565	863	45	2194	1470	33

Таблиця 4

Башта висотою 110 м																			
№	z, м	C _h	k	Δ, %	ξ _{дбн}	ξ _{стп}	Δ, %	ξ _{дбн} (z)	ξ _{стп} (z)	Δ, %	Q ^c _{дбн} , Н/м	Q ^c _{стп} , Н/м	Δ, %	Q ^a _{дбн} , Н/м	Q ^a _{стп} , Н/м	Δ, %	Q _{дбн} , Н/м	Q _{стп} , Н/м	Δ, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	8,75	0,96	0,96	0	1,355	0,775	43	2,704	1,747	35	1088	1187	-9	6	3	47	1094	1190	-9
2	16,25	1,21	1,16	4	1,210	0,707	42	2,590	1,747	33	1242	1300	-5	55	29	47	1297	1329	-2
3	23,75	1,37	1,30	5	1,136	0,668	41	2,519	1,747	31	1295	1337	-3	138	73	47	1433	1410	2
4	31,25	1,50	1,41	6	1,087	0,641	41	2,468	1,747	29	1364	1401	-3	250	132	47	1614	1533	5
5	38,75	1,60	1,50	6	1,052	0,620	41	2,429	1,747	28	1350	1385	-3	370	196	47	1720	1581	8
6	46,25	1,68	1,58	6	1,025	0,604	41	2,396	1,747	27	1294	1329	-3	454	240	47	1748	1569	10
7	53,75	1,76	1,66	6	1,003	0,591	41	2,369	1,747	26	1322	1360	-3	655	346	47	1977	1706	14
8	61,25	1,83	1,72	6	0,984	0,579	41	2,345	1,747	26	1324	1364	-3	837	442	47	2161	1807	16
9	70	1,89	1,79	5	0,966	0,568	41	2,321	1,747	25	1165	1204	-3	1020	539	47	2185	1743	20
10	80	1,96	1,87	5	0,949	0,556	41	2,297	1,747	24	1093	1132	-4	1222	646	47	2315	1778	23
11	88,75	2,02	1,93	5	0,936	0,548	41	2,279	1,747	23	905	938	-4	927	490	47	1831	1428	22
12	96,25	2,06	1,97	4	0,926	0,541	42	2,265	1,747	23	868	903	-4	1323	699	47	2191	1602	27
13	103,75	2,11	2,02	4	0,917	0,535	42	2,252	1,747	22	822	858	-4	1507	797	47	2330	1655	29
14	111,25	2,14	2,06	4	0,908	0,530	42	2,240	1,747	22	758	795	-5	1588	840	47	2346	1635	30

У таблицях: M_0 – номер розрахункового поля; h – висота розрахункового поля; C_h – коефіцієнт висоти споруди (коефіцієнт, який ураховує зміну вітрового тиску по висоті) за [1]; k – коефіцієнт, що враховує зміну вітрового тиску по висоті за [7]; $\zeta_E(z)$ і $\zeta(z)$ – коефіцієнти пульсації тиску вітру на рівні z за [1] та [7]; $\xi_E(z)$ і $\xi(z)$ – коефіцієнти динамічності на рівні z за [1] та [7]; $Q_{ДБН}^c$ і $Q_{СНиП}^c$ – статична складова вітрового навантаження за [1] та [7]; $Q_{ДБН}^o$ і $Q_{СНиП}^o$ – динамічна складова вітрового навантаження за [1] та [7]; $Q_{ДБН}$ і $Q_{СНиП}$ – повне вітрове навантаження за [1] та [7].

Висновки

Представлений в даній статті метод є зручним інженерним засобом знаходження вітрових навантажень на баштові споруди.

Проведений аналіз співставлення обчислених характеристик вітрового навантаження показав добру узгодженість значень коефіцієнта висоти та статичної складової вітрового навантаження і досить велику розбіжність величин коефіцієнтів пульсації та динамічності. В цілому повне вітрове навантаження, розраховане за методикою, що пропонується, в середньому на 30 % перевищує аналогічні значення, обчислені за СНиП 2.01.07-85.

Література

- [1] ДБН В.1.2-2:2006 Система надійності та безпечності у будівництві. Навантаження і впливи. – К., 2006. – 100 с.
- [2] Пичугин С.Ф., Махінко А.В. Ветровая нагрузка на строительные конструкции. – Полтава: АСМІ, 2005. – 342 с.
- [3] Пичугин С.Ф., Махінко А.В. К вероятностным методам расчёта металлоконструкций // Сучасні будівельні конструкції з металу і деревини: Зб. наук. пр. – Одеса: ОДАБА, 2005. – С. 161–171.
- [4] Пичугин С.Ф., Махінко А.В. Чисельно-аналітична методика розрахунку надійності елементів будівельних конструкцій // Будівельні конструкції: Зб. наук. пр. – К.: НДІБК, 2005. – С.591–598.
- [5] Пичугин С.Ф., Махінко А.В. О принципах нормирования ветровых нагрузок в Eurocode 1: "Actions on Structures" и СНиП 2.01.07-85 Нагрузки и воздействия // Современные строительные конструкции из металла и древесины: Сб. науч. тр. – Одесса: ОГАСА, 2006. – С. 152–164.
- [6] Руководство по расчёту зданий и сооружений на действие ветра. – М.: Стройиздат, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, 1978. – 216 с.
- [7] СНиП 2.01.07-85 Нагрузки и воздействия / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 36 с.
- [8] Eurocode 3: Design of steel structures – Part 3–1: Towers, masts and chimneys – Towers and masts.

Надійшла до редколегії 08.03.2008 р.