

УДК 624.042.41

## **До питання необхідності розрахунку ґратчастих опор зв'язку на вітровий вплив при ожеледі**

**Махінько А.В., д.т.н.**

Будівельна компанія «ЕТУАЛЬ», Україна

**Анотація.** Розглянута умова виникнення ситуації, коли вітер при ожеледі буде мати вирішальне значення для ґратчастих опор зв'язку.

**Аннотация.** Рассмотрено условие возникновения ситуации, когда ветер при гололёде будет иметь решающее значение для решётчатых опор связи.

**Abstract.** The condition of situation occurrence when the wind at ice will have crucial importance for lattice tower of transmission is considered.

**Ключові слова:** вітрове навантаження, ожеледь, коефіцієнт суцільності, швидкісний напір, коефіцієнт лобового опору.

**Вступ.** Власна вага ожеледі, яка утворюється безпосередньо на конструкціях башти або стовбурі щогли, мало впливає на зусилля в основних елементах опор. Набагато більше значення у цьому плані має зростання вітрового навантаження на опору внаслідок підвищення її парусності. Ступінь цього впливу оцінюється за допомогою товщини стінки ожеледі, яка, будучи випадковим процесом, залежить не тільки від кліматологічних факторів, але й від розміщення, типу та розмірів поперечного перерізу кожного конструктивного елемента опори і змонтованого на ній антенно-фідерного обладнання.

На жаль, наявні на сьогодні експериментальні дані, опубліковані у довідникових виданнях [13] та книгах [6, 8], відносяться до елементів круглого перерізу малих діаметрів. Відповідно запропоновані на їх основі різноманітні ймовірнісні моделі [1–5, 9, 14, 15] лише у першому наближенні можна екстраполювати на процеси заледеніння елементів іншого поперечного перерізу. Підтвердженням цього факту може служити неузгодженість між собою двох національних нормативів [11, 12], один з яких зобов'язує враховувати збільшення навітряної площі елементів будь-якого розміру, а другий обмежується елементами розміром до 70 мм. Крім цього, історично склалося, що більшість досліджень процесів льодоутворення у нашій країні та за кордоном вивчалися на прикладі дротів ліній електропередач, тому отримані на основі цих досліджень рекомендації, у першу чергу, відносяться саме до них. Чи можна поширювати ці результати на інші конструкції – питання, яке не може мати на сьогодні однозначної відповіді, тому і ставитися до нього слід обережно.

**Основна частина.** Для пояснення сформульованої тези виконаємо оцінку коефіцієнта суцільності плоских граней щоглової опори висотою 80 м, розробки УкрНДІПСК. Всі елементи її гратчастого стовбура шириною 760 мм виконані з круглої сталі: пояси  $\varnothing 25$  мм, розпірки  $\varnothing 16$  мм, розкоси  $\varnothing 12$  мм. Товщину стінки ожеледі приймемо відповідно до [11, 12] для періоду повторюваності 50 років, а результати розрахунків зведемо у табл. 1.

Таблиця 1

**Аеродинамічні характеристики опори зв'язку висотою 80 м при ожеледі**

№ р.п.	z, м	Коефіцієнти суцільності $\varphi_s$ граней опори при товщині ожеледі				
		без ожеледі	19 мм	22 мм	28 мм	34 мм
1	3,600	0,150	0,347	0,378	0,440	0,503
2	10,80	0,150	0,410	0,451	0,533	0,616
3	18,00	0,150	0,455	0,503	0,600	0,696
4	25,20	0,150	0,490	0,544	0,652	0,760
5	32,40	0,150	0,520	0,577	0,694	0,811
6	39,60	0,150	0,543	0,606	0,730	0,855
7	46,80	0,150	0,565	0,630	0,761	0,892
8	54,00	0,150	0,583	0,652	0,790	0,926
9	61,20	0,150	0,600	0,671	0,814	0,956
10	68,40	0,150	0,615	0,690	0,836	0,983
11	75,60	0,150	0,630	0,705	0,856	1,000

Із таблиці видно, що згідно з діючими на сьогодні нормами опори даного класу можуть більше походити на льодові обеліски, ніж на гратчасті споруди. І це при тому, що при визначенні коефіцієнтів суцільності не бралася до уваги наявність фідерів антенного обладнання, які завжди присутні на цих спорудах. Проте, якщо передбачати на опорі хоча б дві антени стандарту DCS-1800, які вимагають живлення від чотирьох фідерів  $\varnothing 28$  мм, то навіть при товщині стінки ожеледі 19 мм коефіцієнт суцільності перевищуватиме 0,6 вже внизу опори та наблизатиметься до одиниці в її горі. Фізично ситуація, яка б віддалено нагадувала описану, ніколи не спостерігалася на території України, а норми [11, 12] взагалі не регламентують процедуру визначення аеродинамічного опору гратчастих споруд при  $\varphi_s > 0,6$ . Також додамо, що подібна ситуація буде спостерігатися для переважної більшості всіх малогабаритних опор, розташованих на покрівлях будівель, або комбінованих баштово-щоглових опор системи «Громова».

Таким чином, очевидно, що існуючі моделі утворення ожеледі на елементах ґратчастих опор потребують не екстраполяційного, а цілком індивідуального багаторічного вивчення, заснованого як на аналізі кліматологічної інформації, так і проведенні стендових випробувань на кшталт кліматичної камери ДонНАБА [3, 4]. На сьогодні даної інформації явно недостатньо, а тому говорити про надійність опор зв'язку під впливом ожеледно-вітрових навантажень поки що передчасно.

В рамках зробленого висновку цікаво дослідити, при яких умовах комбінація вітрового впливу з ожеледдю буде вирішальною для таких конструкцій, як опори зв'язку (далі ми не беремо до уваги обледеніння відтяжок щогл). Для цього умову виникнення даної розрахункової ситуації подамо у вигляді елементарної нерівності:

$$F_i(z) / F(z) > 1, \quad (1)$$

де  $F_i(z)$  та  $F(z)$  – розрахункові значення статичної складової вітрового навантаження на опору при ожеледі та без неї:

$$\begin{aligned} F_i(z) &= w_{b,i} \cdot \phi_w(z, z_0) \cdot A(z) \cdot C_{D,i}(z), \\ F(z) &= w_b \cdot \phi_w(z, z_0) \cdot A(z) \cdot C_D(z), \end{aligned} \quad (2)$$

де  $w_{b,i}$  та  $w_b$  – відповідні розрахункові середні швидкісні напори вітру на стандартній висоті встановлення анемометру;  $A(z)$  – площа навітряної грані опори, яку в обох ситуаціях ми вважатимемо однаковою (це допущення правомірне з тієї точки зору, що дозволяє отримати висновок, який відповідатиме концепції «в запас надійності»);  $C_{D,i}(z)$  та  $C_D(z)$  – коефіцієнти лобового опору, відношення яких у рамках нормативних документів [7, 12] можна представити як [10]:

$$\frac{C_{D,i}(z)}{C_D(z)} = \delta_a \cdot \frac{1 + a_\eta - b_\eta \cdot \varphi_S(z) \cdot \delta_a}{1 + a_\eta - b_\eta \cdot \varphi_S(z)}, \quad (3)$$

де  $a_\eta$  і  $b_\eta$  – коефіцієнти, котрі визначають форму опори у плані ( $a_\eta = 1,15$ ,  $b_\eta = 1,65$  – для чотиригранних опор;  $a_\eta = 1,14$ ,  $b_\eta = 1,715$  – для тригранних опор);  $\varphi_S(z) = A_S / A(z)$  – коефіцієнт суцільності навітряної грані опори без ожеледі;  $\delta_a$  – відношення площ  $A_{S,i}(z)$  елементів опори з урахуванням заледеніння та без нього  $A_S(z)$ .

Підставляючи (2) в (1), з урахуванням (3) будемо мати:

$$(1 + a_\eta - b_\eta \cdot \delta_a \cdot \varphi_S) / (1 + a_\eta - b_\eta \cdot \varphi_S) > \omega_w / \delta_a, \quad (4)$$

$$\delta_a \cdot (1 + a_\eta - b_\eta \cdot \delta_a \cdot \varphi_S) > \omega_w \cdot (1 + a_\eta - b_\eta \cdot \varphi_S), \quad (5)$$

$$\delta_a^2 \cdot b_\eta \cdot \varphi_S - \delta_a \cdot (1 + a_\eta) + \omega_w \cdot (1 + a_\eta - b_\eta \cdot \varphi_S) < 0.$$

де  $\omega_w = w_b / w_{b,i}$  – відношення відповідних швидкісних напорів вітру, яке для заданого географічного району є сталою величиною.

Розв'язуючи звичайне квадратне рівняння, перепишемо (5) у вигляді:

$$\delta_a > \frac{\mu_S}{2} \cdot \left[ 1 \pm \sqrt{1 - \frac{4 \cdot \omega_w}{\mu_S} \cdot \left( 1 - \frac{1}{\mu_S} \right)} \right], \quad (6)$$

де  $\mu_S$  – коефіцієнт, що характеризує аеродинамічні властивості опори:

$$\mu_S = 1 + a_\eta / (b_\eta \cdot \varphi_S). \quad (7)$$

З іншого боку, відношення площ  $\delta_a$  елементів опори можна виразити через коефіцієнт суцільності  $\varphi_{S,i}(z) = [A_{S,i}(z) - A_S(z)] / A(z)$  льодових відкладень:

$$\delta_a = 1 + \varphi_{S,i}(z) / \varphi_S(z). \quad (8)$$

Тоді нерівність (6) набере наступного остаточного вигляду:

$$\varphi_{S,i}(z) > \varphi_S(z) \cdot \left\{ \frac{\mu_S}{2} \cdot \left[ 1 \pm \sqrt{1 - \frac{4 \cdot \omega_w}{\mu_S} \cdot \left( 1 - \frac{1}{\mu_S} \right)} \right] - 1 \right\}. \quad (9)$$

На рис. 1 наведені графічні інтерпретації виразів (6) та (9), з яких видно, що вітровий вплив при ожеледі може мати вирішальне значення для опор із низьким коефіцієнтом суцільності  $\varphi_S$  граней і порівняно невеликим відношенням  $\omega_w$  середніх швидкісних напорів. Наприклад, в нормах колишнього СРСР та сучасних нормах Росії [7] коефіцієнт  $\omega_w = 4$ , а тому комбінація вітрових впливів при ожеледі ніколи не буде розрахунковою для ґратчастих башт, незалежно від коефіцієнтів суцільності  $\varphi_S$  їх граней. Цей висновок слідує безпосередньо з рис. 1 а), тому що для зворотного

твердження необхідно, щоб навітряна площа ожеледі на елементах опор перевищувала навітряну площу самих елементів хоча б у чотири рази, а це фізично неможливо. В національних нормах України [12] коефіцієнт  $\omega_w$  має більш широкий діапазон можливих значень: від 1.4 для м. Одеси до 3.36 для м. Мукачеве. Очевидно, що для опор із порівняно невеликим значенням коефіцієнта суцільності можливі випадки, коли вплив ожеледно-вітрових навантажень буде вирішальним. Для аналізу цього розглянемо дві баштові опори висотою 60 м та 110 м, коефіцієнти суцільності яких не перевищують 0.23 (див. рис. 2 та рис. 3). Перша з опор є типовим проектом УкрНДІПСК (№ 23264 від 6 лютого 2006 р.), інша – існуюча радіорелейна башта, розташована у м. Карлівка (Полтавська обл.). Результати розрахунків зведені у табл. 2.

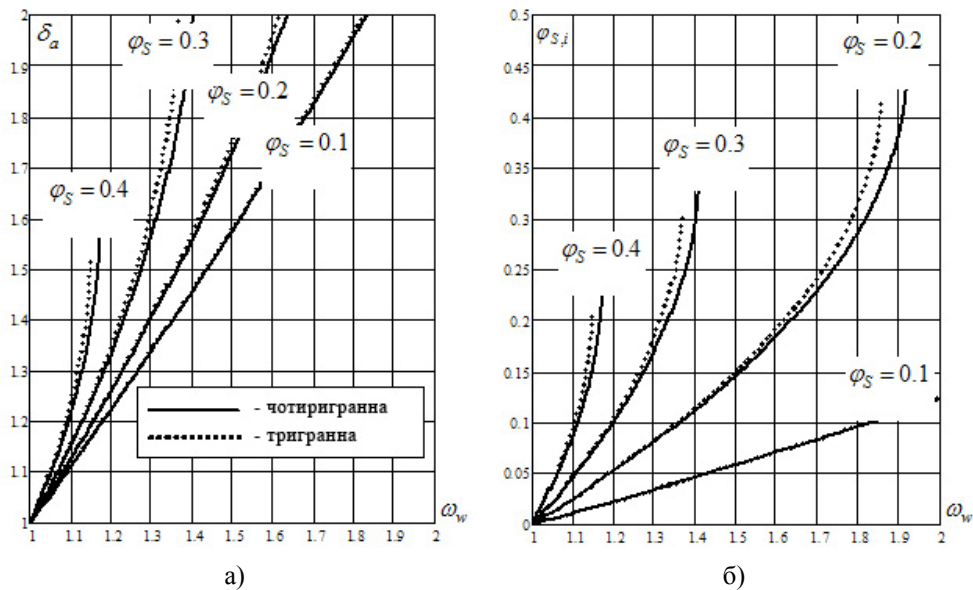


Рис. 1. До обґрунтування необхідності розрахунку опор на вітровий вплив при ожеледі: а) – в координатах  $\delta_a - \omega_w$ ; б) – в координатах  $\varphi_{S,i} - \omega_w$

Із табл. 2 та рис. 1 а) видно, що при заданій товщині стінки ожеледі нерівність (6) може мати місце при  $\omega_w < 1.6$ . Відповідно до ДБН [12] це спостерігається лише для трьох місць України, розташованих в Одеській області: Одеси ( $\omega_w = 1.4$ ,  $t_{ice} = 28$  мм), Білгород-Дністровського ( $\omega_w = 1.42$ ,  $t_{ice} = 27$  мм) та Іллічівська ( $\omega_w = 1.45$ ,  $t_{ice} = 28$  мм). Для решти території України ожеледно-вітрові навантаження будуть меншими за вітровий вплив без ожеледі.

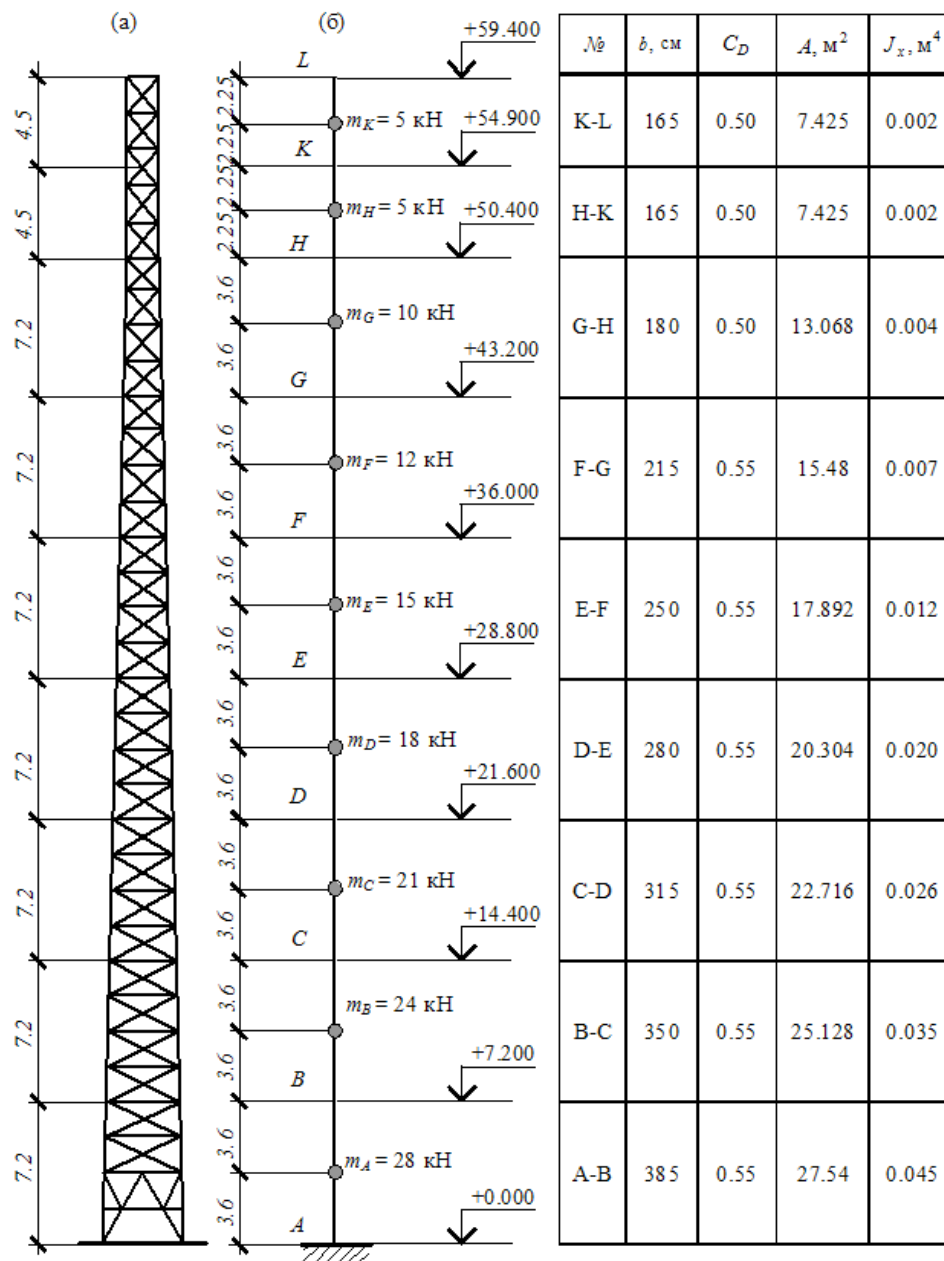


Рис. 2. Гратчаста баштова опора висотою 59.4 м

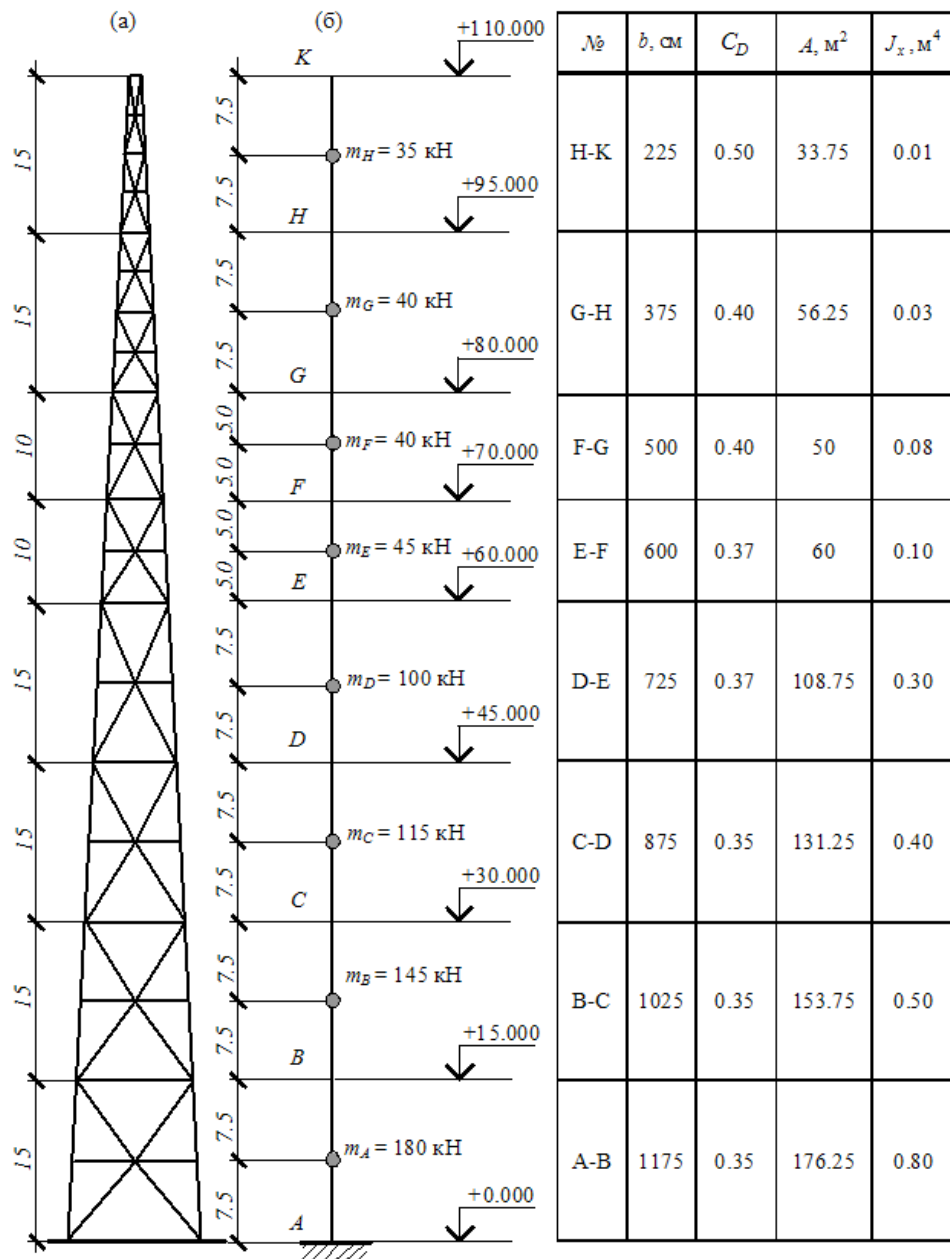


Рис. 3. Ґратчаста баштова опора висотою 110 м

Таблиця 2

**Аеродинамічний опір баштових опор висотою 60 та 110 м при  $t_{ice} = 28$  мм**

№ р.п.	$z$ , м	$A_S$ , м <sup>2</sup>	$\varphi_S$	$A_{S,i}$ , м <sup>2</sup>	$\delta_a$	№ р.п.	$z$ , м	$A_S$ , м <sup>2</sup>	$\varphi_S$	$A_{S,i}$ , м <sup>2</sup>	$\delta_a$
Башта висотою 110 м						Башта висотою 60 м					
1	3,750	11,730	0,129	12,916	1,101	1	1,80	2,913	0,207	3,533	1,213
2	11,25	9,518	0,112	11,033	1,159	2	5,40	3,081	0,230	3,830	1,243
3	18,75	8,572	0,108	10,320	1,204	3	9,00	2,919	0,227	3,750	1,285
4	26,25	8,309	0,112	10,188	1,226	4	12,60	2,641	0,215	3,533	1,338
5	33,75	7,791	0,114	9,793	1,257	5	16,20	2,543	0,218	3,479	1,368
6	41,25	7,013	0,112	9,069	1,293	6	19,80	2,451	0,222	3,419	1,395
7	48,75	6,901	0,121	9,026	1,308	7	23,40	2,277	0,218	3,266	1,435
8	56,25	6,719	0,130	8,859	1,319	8	27,00	2,109	0,214	3,041	1,442
9	65,00	7,646	0,127	10,885	1,424	9	30,60	1,977	0,214	2,842	1,438
10	75,00	6,997	0,140	10,192	1,457	10	34,20	1,823	0,211	2,690	1,476
11	83,75	4,096	0,132	6,640	1,621	11	37,80	1,735	0,216	2,601	1,499
12	91,25	3,919	0,155	6,385	1,629	12	41,40	1,622	0,218	2,482	1,530
13	98,75	3,748	0,190	6,131	1,636	13	45,00	1,383	0,202	2,236	1,617
14	106,25	3,490	0,248	5,817	1,667	14	48,60	1,308	0,210	2,150	1,644
						15	52,20	1,294	0,218	2,413	1,865
						16	56,70	1,941	0,218	3,663	1,887

**Висновок**

Таким чином, навіть при найнесприятливішій реалізації числових значень коефіцієнтів  $\omega_w$ ,  $\delta_a$  та  $\varphi_S$  малоімовірно, що комбінація ожеледно-вітрових впливів формуватиме розрахункову комбінацію навантажень на опори зв'язку.

**Література**

- [1] Ветровые и гололёдные воздействия на воздушные линии электропередачи / [Е. В. Горохов, М. И. Казакевич, С. В. Турбин, Я. В. Назим и др.]; под ред. Е.В. Горохова. – Донецк, 2005. – 348 с.
- [2] Горохов Е. В. Приборное обеспечение гололёдно-ветровых постов / Е. В. Горохов, Г. И. Гримуд, Ю. В. Жабский, В. Н. Васылев, Ю. П. Некрасов // Міжнар. наук. журн. «Металеві конструкції». – Макеевка, 2001. – Том. 4. – №1. – С. 25–30.
- [3] Горохов Е. В. Эффективность энергетического строительства и эксплуатации в Украине / [Е. В. Горохов, Г. И. Гримуд, В. Ф. Мушанов и др.]; под ред. Е. В. Горохова и Г. И. Гримуда. – Макеевка, РИО ДонНАСА, 2008. – 172 с.



- [4] Горохов Е. В. Климатическая камера ДонНАСА / [Е. В. Горохов, В. Н. Васылев, Н. В. Тимофеев, Ю. И. Саливон, А. М. Алёхин] // Вісник ДонДАБА. – Макіївка, 2004. – Вип. 2004. – Том 4, №1 – С. 150–153.
- [5] Заварина Н. В. Строительная климатология / Н. В. Заварина. – Л. : Гидрометеиздат, 1976. – 321 с.
- [6] Кінаш Р. І. Стихійні гідрометеорологічні явища в Україні / Р. І. Кінаш, О. М. Бурнаєв. – Львів : Вид-во наук.-техн. літ., 2000. – 192 с.
- [7] Нагрузки и воздействия : СНиП 2.01.07-85. – [Действующий от 1987-01-01]. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 36 с.
- [8] Нарожний В.Б. Кліматичні навантаження на повітряні лінії електромереж / В. Б. Нарожний, С. Я. Княжевська, Л. В. Глей. – К. : Енергопрес, 1994. – 212 с.
- [9] Пашинський В. А. Методологія нормування навантажень на будівельні конструкції : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. Наук : спец. 05.23.01 “Будівельні конструкції, будівлі та споруди” / В. А. Пашинський. – Полтава : ПДТУ, 1999. – 33 с.
- [10] Пичугин С. Ф. Ветровая нагрузка на строительные конструкции / С. Ф. Пичугин, А. В. Махинько. – Полтава : АСМІ, 2005. – 342 с.
- [11] Правила влаштування електроустановок. Розділ 2. «Передавання електроенергії». Глава 2.5. «Повітряні лінії електропередавання напругою вище 1 кВ до 750 кВ» – К. : ОЕП «ГРІФРЕ», 2006. – 191 с.
- [12] Навантаження і впливи. Норми проектування : ДБН В.1.2-2:2006. – Офіц. вид. – К. : Мінбуд України, 2006. – 120 с. (Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Державні будівельні норми України).
- [13] Справочник по климату СССР. Гололёдно-изморозевые явления и обледенение проводов. – К. : Гидрометеиздат, 1973. – Вып. 10. – 570 с.
- [14] Horokhov Ye. V. Principles of Overhead Line Reliability and Longevity Increasing under Ice and Wind Loads / Ye. V. Horokhov, S. V. Turbin, G. I. Grimud // 15 Internationale Baustofftagung. – Weimar, 2003. – Band 1. – S. 1427–1439.
- [15] Sundin E. Ice loads on Lattice Tower Estimated by Weather Station Data / E. Sundin, L. Makkonen // Journal of Applied Meteorology. – 1998. – Vol. 37. – P. 523–529.

*Надійшла до редколегії 3.06.2013 р.*