

УДК 624.042.5

Н.О. Махінько

Національний авіаційний університет, м. Київ

## НАДІЙНІСТЬ ТА ОДНОРІДНІСТЬ ВИХІДНИХ КЛІМАТОЛОГІЧНИХ ДАНИХ ПРО ШВИДКІСТЬ ВІТРУ

В статті звертається увага на проблеми отримання достовірних та метеорологічно однорідних даних про швидкість вітрового потоку, котрі застосовуються для розрахунків на дію вітру, передусім в діапазоні висотного будівництва. Приводяться методики придатні для перехідного корегування наявної інформації, а також можливі для застосування при організації нових спостережень за вітром на значних висотах.

**Ключові слова:** кліматичні умови, швидкість вітру, шорсткість поверхні, інтервал осереднення, коефіцієнт поверхневого тертя.

### Постановка проблеми

Вітровий вплив на будівельні об'єкти є одним з найбільш суттєвих короткочасних навантажень, значення якого зростає в разі разом із висотою споруди. Відповідно, це породжує неабияку зацікавленість та зосередження наукової спільноти на проблемі уточнення розрахунків і методів визначення вітрових навантажень. Накопичений досвід та всебічне зростання можливостей обчислювальної техніки, без сумніву, надає змоги врахування найдрібніших нюансів розрахунку, не звертаючи уваги на складність математичного апарату. Проте водночас виникає питання – чи покращиться результат, а особливо його практична цінність, якщо оминати увагою точність вихідної інформації про вітрові кліматичні умови?

Не зважаючи на великий об'єм метеорологічних даних, щодо регулярних спостережень за вітром на території нашої держави, на сьогоднішній день існує ряд невіршених проблем, що впливають на значення та якість замірів напряму та швидкості вітру. По-перше, варто зазначити, про суттєве зменшення в останні роки кількості метеостанцій. Якщо у 2005 році в Україні їх налічувалося близько 240, то на сьогодні, за даними Українського гідрометеорологічного центру, національна мережа метеорологічних спостережень налічує 189 станцій. По-друге, осучаснення засобів виробництва синоптиків, здебільшого оминає сферу спостережень за вітром, залишаючи для досліджень параметрів повітряного потоку застарілі прибори та апаратуру радянського періоду.

Особливо гостро постає питання майже повної відсутності систематичних спостережень за вітром в діапазоні висотного будівництва та міських щільно

забудованих районах, а також в разі виконання динамічних розрахунків, коли необхідно оперувати середньогодинною швидкістю вітру на різних висотах. Необхідна інформація про значення навантажень отримується шляхом побудови емпіричних функцій розподілу швидкості вітру, що не завжди добре узгоджується з експериментально визначеним профілем вітрового тиску [1]. Дана проблема набуває неабиякої актуальності, зважаючи на актуальну тенденцію до постійного зростання рівня поверховості нових споруд.

В глобальному масштабі, спираючись на дані, щодо постійної зміни клімату нашої планети, одним із результатів метеорологічних досліджень вітру повинне бути постійне оновлення кліматологічних вітрових характеристик місцевості та карт районування.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідження в галузі кліматології вітру базуються на фундаментальних працях російських та зарубіжних вчених [2, 3, 4]. На жаль, в останні роки більшість наукових праць із вивчення вітрових впливів, зосереджена в першу чергу на проблемах вітроенергетики, що є мало інформативним для будівельної галузі. Реальні спостереження за вітром на рівні висотних споруд носять локальний характер і територіальну прив'язку, і проводяться здебільшого в аеропортах або в якості експериментів, проте в більшості досліджень мають не систематичний характер [5]. Здебільшого їх результати, в силу різномірного клімату не можуть бути застосовані на значному віддаленні від місця замірів. До надбань сучасних дослідників, що вивчають проблематику спостережень за вітром, можна віднести праці [6-13].

### Формулювання мети статті

В рамках даної статті автор хотів привернути увагу до проблем пов'язаних із надійністю даних про швидкість вітру, які можуть бути використані на практиці розрахунку. Для того, щоб інформація про вітрові кліматичні умови на заданій місцевості була придатна та достовірна, вона має бути отримана в однакових або еквівалентних мікрометеорологічних умовах із застосуванням сертифікованих приладів чи контрольно-вимірювальної апаратури з подальшою статистичною обробкою результатів.

### Виклад основного матеріалу

Надійність та мікрометеорологічна однорідність даних про швидкість вітру в заданій місцевості залежить від ряду умов та факторів. В першу чергу впливає технічний чинник – вибір вірно тарованого контрольного обладнання для отримання вхідної інформації. Варто обумовити, що найбільш доступними та зручними приладами є флюгери Вільда та анемометри різної конструкції (чашечні, крильчасті, обладнані тензометрами та ін.). Залежно від видів вимірювальних приладів обирається метод спостережень із наступним введенням корегуючих коефіцієнтів. Так, наприклад, при визначенні швидкості вітру за флюгером застосовується корегуючи поправка [4]

$$a = 0,75 + 5/v_5, \quad (1)$$

де  $v_5$  – розрахункова швидкість вітру, можлива один раз на п'ять років.

Важливою проблемою, що може спотворювати значення швидкості вітру, є вплив місцевих повітряних течій, внаслідок присутності перешкод, викликаних складними умовами рельєфу та особливостями місцевого оточення. В разі організації спостережень за вітром на висотному об'єкті або для експериментального визначення профілю вітру в міській зоні чи на будівництві, передусім вплив справлятиме існуюча міська забудова. Взагалі, велика присутність будівель перешкоджає вибору майданчика для «стандартної» кліматичної станції, вимоги до якого викладені у Правилах, щодо метеорологічних приладів та методів спостережень [11] зібраних Світовою Метеорологічною Організацією, до якої належить і наша держава.

Сукупність природних чи штучних вигинів рельєфу місцевості, що визначають середні та максимальні розміри нерівностей і відстань між ними прийнято називати шорсткістю поверхні. Шорсткість поверхні справляє найбільший вплив на формування

профілів швидкісного напору в приземному прошарку атмосфери. Дія даного фактору на швидкість вітру виражається через величину, пропорційну середньому висотному розміру нерівностей – параметру шорсткості  $z_0$ . Швидкість вітру на висоті  $z_0$  приймається рівною нулю. Також для характеристики шорсткості місцевості застосовується коефіцієнт поверхневого тертя  $k_0$ . Зв'язок окреслених параметрів визначається за формулою

$$k_0 = \frac{K^2}{\ln^2\left(\frac{10}{z_0}\right)}, \quad (2)$$

де  $K \approx 0,4$  – стала Кармана.

Специфіка різних типів поверхонь (рівнина, рідколісся, приміська зона тощо) враховується відповідними значеннями параметру шорсткості  $z_0$  чи коефіцієнту  $k_0$ . Типові значення шорсткості наведені у табл. 1.

Таблиця 1. Значення шорсткості для однорідних поверхонь

Тип поверхні	Шорсткість, м	
	min	max
Море	0,0002	0,0002
Пустеля	0,0002	0,0005
Засніжене поле	0,0001	0,0007
Короткий трав'яний покрив	0,008	0,03
Висока трава	0,02	0,06
Кущі	0,35	0,45
Ліс	0,8	1,6
Передмістя (малоповерхова забудова)	0,4	0,7
Місто	0,7	1,5

Відповідно до вимог [11], при проведенні регулярних метеорологічних спостережень, швидкість вітру має вимірюватись на висоті 10 метрів, на відкритій рівнині, при відсутності перешкод. Параметр шорсткості для такої місцевості, прийнятий в більшості світових норм, приймає значення  $z_0 = 0,03\text{ м}$  та  $z_0 = 0,05\text{ м}$ . Проте з ряду незалежних причин (мінімальні відстані до перешкод, маленький горизонт прохідності, співвідношення розмірів окремих будівель, дерев, дворів, вулиць, садів тощо) дотриматися на практиці даної рекомендації є неможливо. При вимірюваннях отриманих на стандартній висоті, в зоні щільної міської забудови, потік повітря змінюється навіть на дуже короткій відстані (рис. 1).

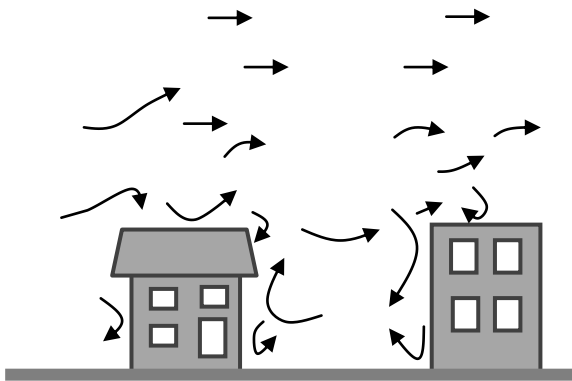


Рис. 1. Схема руху потоку повітря в міській зоні

Тому в районах передмістя і міста значення шорсткості залишаються найменш дослідженими. Певно, що для спостережень обирається набагато більша висота, яка залежить від розмірів перешкод.

В такому разі доцільно привести отримані значення про швидкість вітру до базової шорсткості та стандартної висоти, застосувавши підхід Д. Вієрінга [6, 7], згідно якого виражається залежність між швидкістю вітру  $v_S$  заміряною на будь-якій висотній відмітці  $z_S$  на місцевості з шорсткістю  $z_{0,S}$  та потенційною швидкістю вітру  $v_P$ , виміряною на висоті  $10\text{ м}$  зі значенням  $z_0 = 0,03\text{ м}$

$$v_P = F \cdot v_S = 0,76v_S \frac{\ln\left(\frac{60}{z_{0,S}}\right)}{\ln\left(\frac{z_S}{z_{0,S}}\right)}, \quad (3)$$

де  $F$  – коефіцієнт корегування експозиції.

На рис. 2 зображено, як змінюється середня швидкість вітру  $U_b$  в місцевості, що характеризується щільною забудовою та великою кількістю перешкод. В приземному прошарку поверхні розрізняють шорсткий суб-шар (RSL) висотою  $z_R$  та інерційний суб-шар (ISL). В зоні RSL також можливо виділити міський прошарок (USL), що визначається розміром  $z_H$ , і в межах якого характер руху повітряних мас залежить від місцевих типів поверхонь, їх габаритів та щільності. Величина  $z_0$  позначає середній рівень шорсткості, а  $z_d$  – рівень нульової площини висоти зсуву [9]. Теоретично швидкість вітру на висоті  $z_0$  дорівнює нулю. Разом з ускладненням рельєфу та зростанням кількості перешкод межа  $z_d$  може зростати, що необхідно враховувати при розрахунках. Фактичний профіль  $U_b$  зображений товстою основною лінією. Пунктирною лінією на графіку вказано теоретичний

профіль середньої швидкості вітру від рівня площини зсуву  $z_d$ .

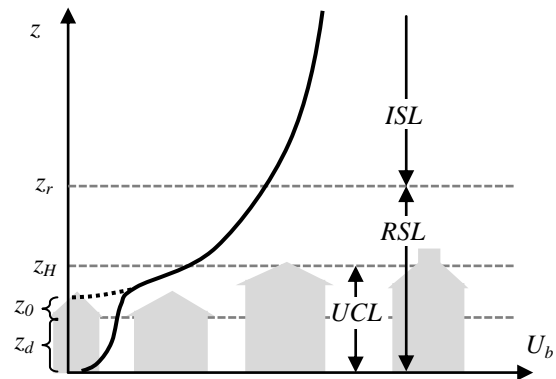


Рис. 2. Профіль швидкості вітру в зоні міської забудови

Вагомим фактором, який характеризує ступінь турбулентного перемішування повітря та впливає на достовірність даних про швидкість вітру, є часовий інтервал осереднення замірів швидкості вітру для отримання розрахункового значення. Його поява обумовлена з одного боку постійною мінливістю вітрового потоку й особливостями наявної інформації про значення швидкості вітру, а з іншого, викликана встановленим порядком розрахунку конструкцій на динамічний вплив.

Рекомендацій, щодо вибору стандартного періоду осереднення швидкості вітру Світова Метеорологічна Організація не надає, а тому в нормативних документах різних країн світу, ця величина штучно набуває трьох найпоширеніших значень –  $t = 3\text{ с}$  (США, Індія, Австралійські та Новозеландські стандарти),  $t = 10\text{ хв} = 600\text{ с}$  (Російська Федерація, загальноєвропейські норми, стандарти Японії) та  $t = 1\text{ год} = 3600\text{ с}$  (норми Великобританії, Канади).

Зі зменшенням інтервалу осереднення, зростають значення середньої швидкості вітру та коефіцієнту поривчастості (табл. 2) [12], який характеризується відношенням найбільшої швидкості вітру в пориві до її середнього значення за обраний інтервал.

Таблиця 2. Залежність швидкості вітру від часу осереднення

Час осереднення	1 год	5 хв	1 хв
Швидкість, м/с	26,0	27,3	31,1
Коефіцієнт поривчастості	1,00	1,05	1,20
Час осереднення	30 с	10 с	5 с
Швидкість, м/с	35,8	41,1	42,5
Коефіцієнт поривчастості	1,38	1,58	1,63

В'язок між швидкістю вітру  $V_t(z)$  при інтервалі осереднення  $t$  і швидкістю  $V_{3600}(z)$  при інтервалі осереднення рівному одній годині, відображений у формулі [11]

$$V_t(z) = V_{3600}(z) \left[ 1 + \frac{\beta^{0.5} c(t)}{2,5 \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \right], \quad (4)$$

де  $c(t)$  – коефіцієнт, що залежить від інтервалу осереднення і визначається на основі статичної обробки записів швидкості вітру (табл. 2);

$\beta$  – константа, значення якої для різних параметрів шорсткості відображені у таблиці 3.

Співвідношення (4) для відкритої місцевості ( $z_0 = 0,05m$ ) та висоти  $z = 10m$  ілюструється графіком (рис.3).

Таблиця 2. Значення коефіцієнту  $c(t)$

$t, c$	1	10	20	30	50
$c(t)$	3,00	2,32	2,00	1,73	1,35
$t, c$	100	200	300	600	1000
$c(t)$	1,02	0,70	0,54	0,36	0,16

Таблиця 3. Значення коефіцієнту  $\beta$

$z_0$	0,005	0,07	0,30	1,00	2,50
$\beta$	6,50	6,00	5,25	4,85	4,00

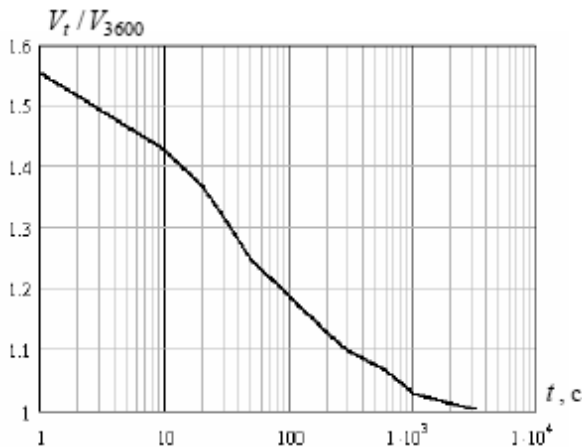


Рис. 3. Відношення максимальної швидкості вітру з інтервалом осереднення  $t$  до швидкості з інтервалом осереднення 1 година

Оскільки швидкість вітру, первинно є випадковою функцією часу  $U(t)$ , тому детерміновану величину  $U_b$  необхідно визначати: як величину, що перевищується функцією  $U(t)$  в середньому один раз в  $T_{b,R}$  років. Інтервал часу  $T_{b,R}$  носить назву базового середнього періоду повторюваності базової швидкості вітру  $U_b$ ,

отриманої на основі експериментальних метеодосліджень. Для базової швидкості  $U_b$  в різних нормативних документах світу використовуються також назви – нормативної, характеристичної, фундаментальної тощо. Величина періоду повторюваності регулюється нормами країн, і приймає значення  $T_{b,R} = 50 \text{ років}$  (європейські норми EN 1991-1-4:2004, і в тому числі Україна, норми США – ASCE 7-10, Великобританії – BS8100, Індії – NBCI:2005, Канади – NBCC:2005 і CSA37-01),  $T_{b,R} = 5 \text{ років}$  (російські норми СНиП 2.01.07-85),  $T_{b,R} = 100 \text{ років}$  (настанови Японського Інституту Архітектури – AII RLB:2004).

В загальноєвропейських нормах при обґрунтуванні величини  $U_b$  вводяться коефіцієнти напрямку  $C_{dir}$  та сезонності  $C_{season}$ . Коефіцієнт напрямку враховує два ефекти: знижену імовірність появи максимальних вітрів різного напрямку та знижену імовірність реалізації максимального значення аеродинамічного коефіцієнту на поверхні споруди.

При необхідності врахування іншого періоду повторюваності  $T_R$  базову швидкість слід помножити на коефіцієнт ймовірності  $C_{prob}$ , визначення якого пропонується за формулою

$$C_{prob} = \left( \frac{1 - K \ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{T_R} \right) \right]}{1 - K \ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{T_R}{T_{b,R}} \right) \right]} \right)^n, \quad (5)$$

де параметр  $n$  приймає сталі значення 0,5, а  $K$  є функцією коефіцієнта варіації  $V_{max}$  вибірки максимумів швидкісного напору вітру за інтервал часу – 1 рік. Європейські норми рекомендують приймати  $K = 0,2$ , що приблизно відповідає значенню  $V_{max} = 0,23$ , яке відповідає даним за всіма метеостанціями країн, що входять до системи стандартизації Eurocode. Для території України: за даними роботи [13], коефіцієнт варіації річних максимумів знаходиться у межах  $V_{max} = 0,5 \div 0,75$ , що відповідає значенням параметру  $K = 0,5 \div 0,9$ .

### Висновки

Проблема отримання надійних та метеорологічно однорідних експериментальних даних про швидкість вітру на території нашої держави, в умовах динамічних змін клімату, постійного характерного зростання розмірів міст і промислових районів та в умовах зростання технічних можливостей, наразі залишається актуальною темою наукових спостережень. В статті окреслені основні вимоги та параметри, від яких залежить наукове вирішення проблеми досліджень, а також їх короткі характеристики, вживані у найбільш



пріоритетних нормативних документах світу. Ретельний спеціальний аналіз світових підходів забезпечить ще більшу успішність вітчизняних інновацій у вирішенні важливих питань експериментальної організації спостережень за вітром.

### Література

1. Лопатка С.С. Методи оцінювання вертикальних профілів вітрового навантаження на висотні будівлі і споруди : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук. : спец. 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» / С.С. Лопатка. – Львів, 2005 – 20 с.
2. Симиу Э. Воздействие ветра на здания и сооружения / Э. Симиу, Р. Сканлан. — М. : Стройиздат, 1984. – 360 с.
3. Анапольская А.Е. Методика определения расчетных скоростей ветра для определения ветровых нагрузок на строительные сооружения / А.Е. Анапольская, Л.С. Гандин // Метрология и гидрология. – 1985. – №10. – С. 9-17.
4. Заварина М.В. Строительная климатология / М.В. Заварина. – М.: Гидрометеиздат, 1976. – 312 с.
5. Добрянський І. Вертикальні профілі вітрового тиску на висотні споруди над рівнинною забудовою міста Львова / І. Добрянський, С. Лопатка // Вісник Львівського державного аграрного університету. – Львів, 2003. – № 4. – С. 19–26.
6. Wieringa J. Does Representative Wind Information Exist? / J. Wieringa // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 1996. – P. 1-12.
7. Wieringa J. Representativity Problems of Wind Stations / J. Wieringa // EU COST Seminar on data spatial distribution in Meteorology and Climatology. – Volterra, Italy, 1997. – P. 29-43.
8. Wieringa J. Representative Roughness Parameters for Homogeneous Terrain / J. Wieringa // Boundary Layer Meteorology. – 1993. – Vol. 63. – P. 323-393.
9. Oke T. Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites / T. Oke. – World Meteorological Organization. – 2006 – №. 81 – 35-47 p.
10. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. – 2012. – 716 p.
11. Пичугин С.Ф. Ветровая нагрузка на строительные конструкции / Пичугин С.Ф., Махинько А.В. – Полтава, 2005. – 342 с.
12. Савицкий Г.А. Ветровая нагрузка на сооружения. – М.: Стройиздат. – 1972. – 111 с.
13. Пашинський В.А. Атмосферні навантаження на будівельні конструкції для території України / В.А. Пашинський. – К. : УкрНДІПСК, 1999. – 185 с.

### References

1. Lopatka, S. (2005). Methods to assess vertical profiles of wind load on tall buildings, 20.
2. Simiu, E., Scanlan, R. (1984). Wind Effects on Structures.
3. Anapolsky, A., Gandin, L. (1985). The methodology for determining the design wind speeds to determine wind loads on building structures, 10, 9-17.
4. Savarina, M. (1976). Building climatology.
5. Dobriansky, I., Lopatka, S. (2003). Vertical profiles of wind pressure on high-rise buildings above a flat development of the city Lviv, 19-26.
6. Wieringa, J. (1996). Does representative wind information exist? Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 65, 1-12.
7. Wieringa, J. (1998). Representativity Problems of Wind Stations, 29-43
8. Wieringa, J. (1993). Representative Roughness Parameters for Homogeneous Terrain. Boundary Layer Meteorology, 63, 323-393.
9. Oke, T. (2006). Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites. World Meteorological Organization, 81, 35-47.
10. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation (2012).
11. Pichugin, S., Makhinko, A. (2005). Wind load on structures.
12. Savitsky, G. (1972). Wind loading on structures.
13. Pashinsky, V. (1999). Atmospheric loads on structures for the territory of Ukraine.

**Рецензент:** ЛАПЕНКО Олександр Іванович  
Національний авіаційний університет, доктор  
технічних наук, професор.  
E-mail: my-partner@ukr.net

**Автор:** МАХІНЬКО Наталія Олександрівна  
Національний авіаційний університет, кандидат  
технічних наук.  
E-mail: pasargada@yandex.ua

## НАДЕЖНОСТЬ И ОДНОРОДНОСТЬ ИСХОДНЫХ КЛИМАТОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ О СКОРОСТИ ВЕТРА

Н.А. Махинько

В статье обращается внимание на проблемы получения достоверных и метеорологически однородных данных о скорости ветрового потока, которые применяются для расчетов на действие ветра, прежде всего в диапазоне высотного строительства. Приводятся методики пригодные для переходной корректировки имеющейся информации, а также, которые могут использоваться, при организации новых наблюдений за ветром на значительных высотах.

**Ключевые слова:** климатические условия, скорость ветра, шероховатость поверхности, интервал осреднения, коэффициент поверхностного трения.

## THE RELIABILITY AND HOMOGENEITY OF THE SOURCE OF CLIMATOLOGICAL DATA ON WIND SPEED

N. Makhinko

The article draws attention to the problems that arise in obtaining reliable data meteorologically homogeneous and the speed of the wind flow. These data are used further for calculations on the effect of wind, especially in the range building high-rise buildings. The problem of variation of the wind speed, the result of the impact of local air currents. This is facilitated by the presence of natural and artificial obstacles, the topography of the underlying surface. The technique for transition adjustments to the available information. These expressions can also be used, the organization of new observations of the wind at considerable heights in the construction of high buildings.

**Key words:** climatic conditions, wind speed, surface roughness, interval of averaging, the coefficient of surface friction.