

ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИЧНИХ ЗНАЧЕНЬ КЛІМАТИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ШЛЯХОМ ЗГЛАДЖУВАННЯ ДАНИХ НАВКОЛИШНІХ МЕТЕОСТАНЦІЙ

DETERMINATION OF CHARACTERISTIC VALUES OF CLIMATIC LOADS BY DATA SMOOTHING OF SURROUNDING WEATHER STATIONS

Філімоніхін Г.Б., д.т.н., професор, Пашинський М.В., аспірант (Центральноукраїнський національний технічний університет)

Filimonikhin G.B., DSc, prof., Pashynskiy M.V., PhD student (Central Ukrainian National Technical University)

Проаналізована й удосконалена методика визначення характеристик значень кліматичних навантажень в заданій проектній точці шляхом згладжування результатів метеорологічних спостережень на найближчих метеостанціях. Рекомендовано використовувати експоненціальну або трикутну вагову функцію з встановленими інтервалами згладжування.

During territorial zoning of climatic loads and impacts, the method of smoothing of the data of nearby weather stations with weight functions is used, which takes into account the amount of data and the distance from each meteorological station to a given design point. The purpose of this research is the mathematical justification of the type and parameters of the weight function for meteorological data smoothing.

For the analysis, the characteristic values of four climatic loads (snow load, ice load, maximum wind pressure and wind pressure during ice loads), determined by results of meteorological observations at 172 flat weather stations of Ukraine. The exponential, triangular and rectangular weighted functions with different values of parameters (smoothing intervals) are analyzed. The best type of weight function and smoothing interval is one that takes into account the largest volume of weather data and provide that this data remain homogeneous. The possibility of combining the results of meteorological observations at surrounding meteorological stations is established on the basis of the dispersion analysis procedure, modified in the previous works of the author.

With an increase of the smoothing interval, the factor variance increases and the F-test index increases accordingly. It is reasonable to consider

suchlike smoothing interval, in which F-test index becomes equal to its critical value.

By the example of five project points from different geographical regions of Ukraine it is shown that during the normalization of climatic loads, an exponential or triangular weight function should be used with the recommended smoothing intervals. The results of the research can be used both in determining the characteristic values of climatic loads in a specific design point, as well as in a developing of maps of territorial zoning of Ukraine.

Ключові слова:

кліматичні навантаження, дисперсійний аналіз, згладжування метеоданих. climatic loads, dispersion analysis, smoothing of weather data.

Вступ. Територіальне районування кліматичних навантажень і впливів здійснюється за результатами метеорологічних спостережень на діючій в країні мережі метеостанцій. Характеристичним значенням навантажень, що підлягають нормуванню, притаманні помітні випадкові коливання, обумовлені мезокліматичними змінами метеорологічних параметрів та випадковими похибками вимірювань на окремих метеостанціях. Для нівелювання цих коливань використовується метод згладжування даних мережі метеостанцій, який дозволяє узагальнити наявні результати метеорологічних спостережень.

Аналіз останніх досліджень. Найбільш поширеним у світовій практиці [1, 2, 3] є картографічне районування кліматичних навантажень і впливів, що полягає в розробленні карт, на яких виділяються декілька територіальних районів з відповідними характеристичними значеннями навантаження. З метою нівелювання випадкових коливань на окремих метеостанціях при побудові карт територіального районування України за характеристичними значеннями кліматичних навантажень для ДБН [3] використано метод згладжування метеорологічних даних, розроблений та описаний в [4]. Характеристичне значення навантаження в заданій проектній точці визначається як середньозважений результат спостережень на найближчих метеостанціях, обчислений з урахуванням вагових функцій, що враховують обсяг даних та відстань від метеостанції до заданої проектної точки. Основним недоліком методики [4] є недостатнє математичне обґрунтування при виборі виду та параметрів вагової функції.

Метою даного дослідження є удосконалення методики згладжування метеорологічних даних при визначенні характеристичних значень кліматичних навантажень в заданій проектній точці, зокрема обґрунтування раціонального виду та параметрів вагової функції згладжування.

Методика досліджень базується на аналізі характеристичних значень чотирьох кліматичних навантажень (вага снігового покриву, вага ожеледі,

максимальний тиск вітру і тиск вітру при ожеледі), встановлених за результатами метеорологічних спостережень на 172 рівнинних метеостанціях України. У переважній більшості випадків використані ряди спостережень тривалістю від 25 до 50 років, що достатньо для статистичного аналізу та обчислення характеристичних значень досліджених навантажень.

Визначення характеристичного значення навантаження в заданій проектній точці шляхом згладжування даних довколишніх метеостанцій є самостійним завданням, а також основою методики розроблення карт територіального районування. Найкращими будемо вважати такий вид вагової функції та інтервал згладжування, які забезпечують урахування найбільшого обсягу метеоданих при умові їх близькості, достатньої для об'єднання в спільну вибірку. Можливість об'єднання результатів метеорологічних спостережень на сусідніх метеостанціях встановлюється на основі процедури дисперсійного аналізу, модифікованої для розв'язання цієї задачі в роботі [5].

Виходячи з методики згладжування метеоданих [4] та описаної в [5] процедури дисперсійного аналізу для аналізу можливості об'єднання даних сусідніх метеостанцій, розроблено алгоритм визначення характеристичного значення кліматичного навантаження в заданій проектній точці:

1. Вихідними даними є характеристичні значення навантаження Q_k та обсяги вибірок N_k , за якими вони визначені, для усіх L метеостанцій території, а також дисперсії характеристичних значень $D_k = S_Q^2 = 0,36 \cdot Q_k^2 / N$.
2. Для кожної з L метеостанцій обчислюється вагова функція, яка враховує заданий інтервал згладжування a та відстань d_k від k -тої метеостанції до проектної точки, за однією з формул:

$$C_k = e^{-\frac{d_k}{a}} \quad (1)$$

$$C_k = \begin{cases} 1 - \frac{d_k}{a} & \text{при } d_k < a \\ 0 & \text{при } d_k \geq a \end{cases} \quad (2)$$

$$C_k = \begin{cases} 1 & \text{при } d_k < a \\ 0 & \text{при } d_k \geq a \end{cases} \quad (3)$$

3. Еквівалентна кількість врахованих метеостанцій дорівнює сумі вагових функцій для усіх метеостанцій

$$L_e = \sum_{k=1}^L C_k \quad (4)$$

4. Еквівалентний обсяг спостережень для k -тої метеостанції дорівнює

$$N_{ek} = C_k \cdot N_k \quad (5)$$

5. Сумарний еквівалентний обсяг спостережень, за яким визначається характеристичне значення в проектній точці дорівнює

$$N_e = \sum_{k=1}^L N_{ek} \quad (6)$$

6. Характеристичне значення навантаження в проектній точці дорівнює

$$Q = \sum_{k=1}^L N_{ek} \cdot Q_k / N_e \quad (7)$$

7. Залишкова та факторна дисперсії для визначення F-критерію дорівнюють

$$D_3 = \sum_{k=1}^L N_{ek} \cdot D_k / N_e \quad D_\phi = \sum_{k=1}^L N_{ek} (Q_k - Q)^2 / L \quad (8)$$

8. Визначається спостережене значення статистики F критерію Фішера $F = D_\phi / D_3$ та порівнюється з критичним значенням $F_{cr}(k_\phi, k_3)$ для обраного рівня значимості та кількості ступенів свободи $k_\phi = L_e$ і $k_3 = N_e$.
9. Інтервал згладжування a у формулах (1)...(3) обирається таким, щоб при виконанні умови $F \leq F_{cr}$ використати максимально можливий обсяг даних.

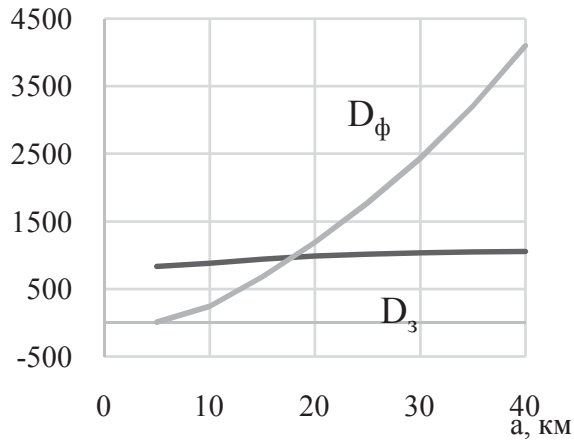
Результати дослідження. Вибір найкращого виду вагової функції та доцільної величини інтервалу згладжування виконано шляхом аналізу за описаним алгоритмом вагових функцій трьох видів: експоненти (1), трикутника (2) і прямокутника (3). Результати застосування описаного алгоритму для визначення характеристичного значення максимального вітрового тиску в м. Кропивницький при різних значеннях інтервалу згладжування відображені на рисунку 1.

З графіків рисунка 1 видно, що при малих значеннях інтервалу згладжування a , коли враховується порівняно невелика кількість даних найближчих метеостанцій, факторна дисперсія є меншою від залишкової, а спостережена статистика критерію Фішера не перевищує критичного значення: $F < F_{cr}$, що вказує на можливість об'єднання використаних даних.

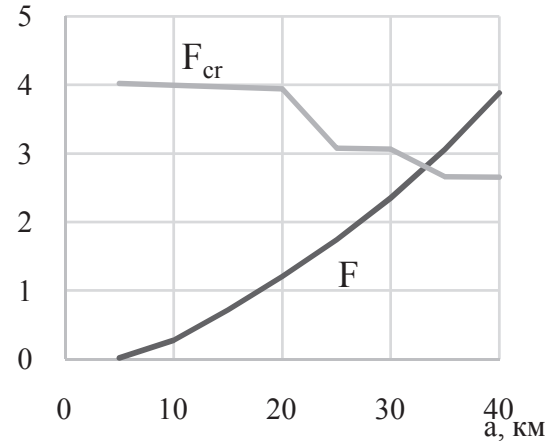
Збільшення інтервалу згладжування в усіх випадках призводить до істотного збільшення факторної дисперсії та незначного зростання залишкової дисперсії. Відповідно до цього збільшується статистика критерію Фішера F , а її критичне значення F_{cr} дещо зменшується за рахунок зростання кількості ступенів свободи. При певному значенні інтервалу згладжування a настає момент, коли $F > F_{cr}$, що вказує на неможливість об'єднання вибраних метеоданих. Доцільним значенням інтервалу згладжування слід вважати значення, при якому $F = F_{cr}$. Такий вибір забезпечує урахування максимально можливої кількості метеоданих при умові збереження їх однорідності.

для експоненціальної вагової функції (1)

Дисперсії

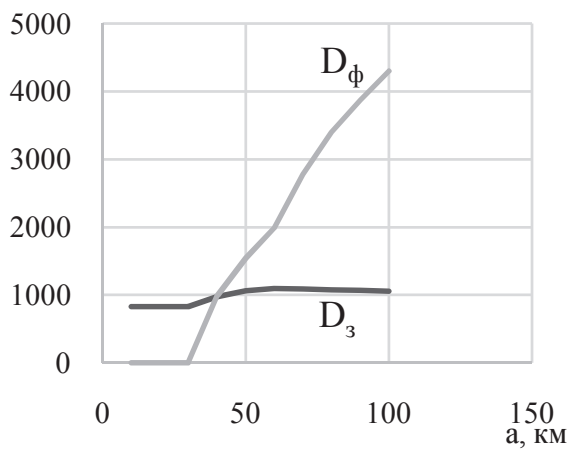


F-критерії

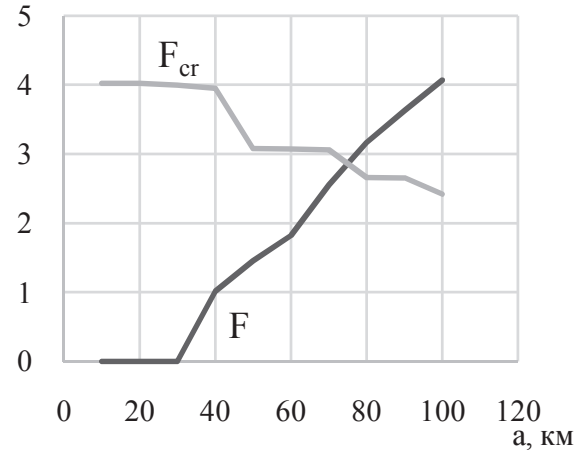


для трикутної вагової функції (2)

Дисперсії

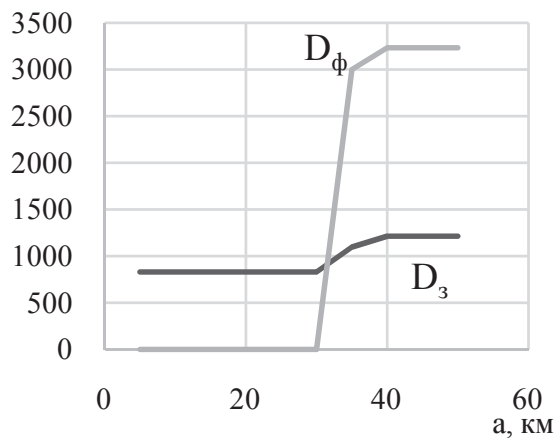


F-критерії



для прямокутної вагової функції (3)

Дисперсії



F-критерії

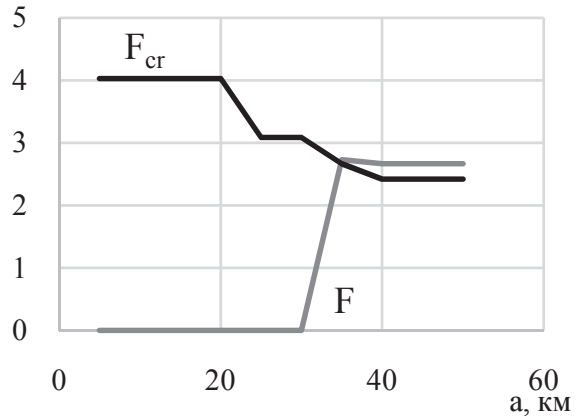


Рис. 1 Залежності дисперсій та значень критерію Фішера від інтервалу згладжування

Порівняння графіків з рисунка 1 показує, що описані тенденції змін статистичних характеристик наявні в усіх випадках, але залежать від виду вагової функції. Для експоненціальної вагової функції (1), яка завжди враховує усі наявні дані (при цьому віддалені станції враховуються з дуже малим ваговим множником), значення дисперсій та статистики критерію Фішера змінюються плавно й систематично. Трикутна вагова функція (2) повністю відхиляє метеостанції, віддалені від проектної точки більше, ніж на інтервал згладжування. Це робить зміни проаналізованих характеристик менш плавними. Прямокутна вагова функція (3) повною мірою враховує близько розміщені метеостанції і зовсім не враховує віддалені. Це призводить до скачкоподібної зміни статистичних характеристик та нечіткої визначеності доцільного інтервалу згладжування.

Доцільні значення інтервалу згладжування, визначені за точками перетину кривих F та F_{cr} на графіках з рисунка 1, отримані рівними: $a=33$ км для експоненціальної вагової функції (1), $a=74$ км для трикутної вагової функції (2), $a=34$ км для прямокутної вагової функції (3). При збільшенні інтервалу згладжування до $a=35$ км вагова функція (3) дає скачок результатів та перевищення статистикою критерію Фішера $F=2,73$ критичного значення $F_{cr}=2,66$. Скачкоподібний характер зміни характеристик об'єднаних даних при використанні прямокутної вагової функції (3) обумовлює недоцільність її подальшого аналізу та практичного використання.

Експоненціальна та трикутна вагові функції дають близькі еквівалентні кількості врахованих років спостереження за (6) $N_e=152$ і 150 років, а також близькі результати згладжування, тобто характеристичні значення вітрового тиску (7) $Q=373$ і 377 Па. Це дозволяє рекомендувати їх для практичного використання і спонукає до встановлення доцільних інтервалів згладжування при нормуванні усіх чотирьох кліматичних навантажень.

Доцільні значення інтервалу згладжування a , які дозволяють використати максимальний обсяг метеорологічної інформації без порушення єдності використаних даних, встановлені за результатами розрахунків для різних значень інтервалу згладжування в експоненціальній (1) та трикутній (2) вагових функціях. Розрахунки виконані для чотирьох вказаних вище кліматичних навантажень і п'яти проектних точок, розмішених у містах Кропивницький, Львів, Ніжин, Харків, Херсон.

Отримані значення інтервалів згладжування істотно залежать від дослідженого навантаження, виду вагової функції та рівня значимості $\alpha=0,05$ чи $\alpha=0,01$, на яких виконувався дисперсійний аналіз. Найменші значення інтервалу згладжування отримані для ваги ожеледі, а найбільші – для ваги снігового покриву. В межах одного навантаження інтервали згладжування є в основному стабільними, але можуть спостерігатися також помітні зміни. Так, наприклад, розрахунки для проектної точки м. Ніжин дали набагато більші інтервали згладжування снігового навантаження та ваги ожеледі, а для вітрового тиску при ожеледі в районі м. Львів отримані помітно менші

значення, ніж для інших проектних точок. Певною мірою це залежить від територіальної мінливості дослідженого навантаження в околі проектних точок. Проаналізовані залежності інтервалів згладжування від коефіцієнта варіації вибірок характеристичних значень навантажень вказують на наявність тенденції до звуження області згладжування при великій територіальній мінливості навантаження. Виявлена також лінійна залежність, згідно з якою константа згладжування для трикутної вагової функції (2) у 2,8 риза більша, ніж для експоненціальної функції (1). Досить тісна, практично функціональна лінійна залежність пов'язує доцільні інтервали згладжування, отримані для різних рівнів значимості критерію Фішера. Еквівалентна кількість врахованих даних (5) загалом зростає при розширенні області згладжування.

Аналіз отриманих результатів показав, що остаточний результат згладжування (характеристичне значення навантаження в проектній точці) мало залежить від вибору вагової функції та величини інтервалу згладжування в околі виявлених доцільних значень. Різниця між результатами згладжування з ваговими функціями (1) і (2) коливається в межах $\pm 3\%$, а відхилення інтервалу згладжування на 10...20% від отриманого доцільного значення змінює результат згладжування на 1...2%.

Зведені результати розрахунків представлені в таблиці 1, де наведені рекомендовані значення інтервалів згладжування для чотирьох кліматичних навантажень та двох рівнів значимості, на яких виконувалася перевірка можливості об'єднання даних за критерієм Фішера. Наведені значення округлені за даними п'яти розглянутих проектних точок переважно в бік заниження, що гарантує можливість об'єднання метеоданих в обраній за ними області згладжування.

Таблиця 1

Рекомендовані значення констант згладжування для формул (1) і (2)

Навантаження	Значення a при $\alpha=0,05$		Значення a при $\alpha=0,01$	
	для (1)	для (2)	для (1)	для (2)
Вага снігового покриву	50	130	55	150
Вага ожеледі	15	40	25	70
Максимальний тиск вітру	30	70	35	80
Тиск вітру при ожеледі	40	110	45	120

Наведені в таблиці 1 інтервали згладжування можуть використовуватися як при визначенні кліматичних навантажень в заданій проектній точці (в зоні розташування конкретного будівельного об'єкта), так і при розробленні карт територіального районування за характеристичними значеннями кліматичних навантажень на будівельні конструкції. При цьому можна використовувати експоненціальну (1) або трикутну (2) вагову функцію, які дають достатньо близькі результати згладжування.

Висновки за результатами дослідження:

1. Для практичного використання при нормуванні навантажень для території України можна рекомендувати експоненціальну або трикутну вагову функцію з рекомендованими в таблиці 1 інтервалами згладжування, які забезпечують урахування максимально можливої кількості метеоданих при умові збереження їх однорідності.
2. Вибір інтервалів згладжування не вимагає великої точності, оскільки їх відхилення від доцільного значення на 10...20% змінює результат згладжування усього на 1...2%.
3. При необхідності більш точного визначення характеристичних значень навантажень в проектній точці можна уточнити константи згладжування, виконавши розрахунки з проведенням дисперсійного аналізу за описаною методикою.

1. EN 1991-1-3. Eurocode 1: Actions on structures. Part 1-3: General actions – Snow loads. – CEN, 2003.

2. EN 1991-1-4-2005: Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-4: General actions - Wind actions.

3. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. – К.: Мінбуд України, 2007.- 60 с.

4. Пашинський В.А. Атмосферні навантаження на будівельні конструкції на території України. – К.: УкрНДІпроектстальконструкція, 1999. – 185 с.

5. Філімоніхін Г. Б., Пашинський М. В. Визначення кліматичних навантажень за метеоданими при перевірочних розрахунках несучих конструкцій. / Г.Б. Філімоніхін, М.В. Пашинський. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, Випуск №68, 2017 р. с 59-63.

1. EN 1991-1-3. Eurocode 1: Actions on structures. Part 1-3: General actions – Snow loads. – CEN, 2003.

2. EN 1991-1-4-2005: Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-4: General actions - Wind actions.

3. DBN V.1.2-2:2006. Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky budivelnykh obiektiv. Navantazhennia i vplyvy. Normy proektuvannia. – K.: Minbud Ukrainy, 2007.

4. Pashynskiy V.A. Atmosferni navantazhennia na budivelni konstruktsii na terytorii Ukrainy.- K.: UkrNDIproektstalkonstruktsiia, 1999.

5. Filimonikhin G. B., Pashynskiy M. V. Vyznachennia klimatychnykh navantazhen za meteodanyu pry perevirochnykh rozrakhunkakh nesuchykh konstruktsii. / G. B. Filimonikhin, M. V. Pashynskiy. Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury, Vypusk № 68, 2017.