

## ВИЗНАЧЕННЯ КЛІМАТИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЗА МЕТЕОДАНИМИ ПРИ ПЕРЕВІРОЧНИХ РОЗРАХУНКАХ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ

**Філімоніхін Г.Б.**, д.т.н., професор,  
**Пашинський М.В.**, аспірант,  
*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький*  
filonalone@gmail.com

**Анотація.** Розроблена методика оцінювання характеристичних значень кліматичних навантажень в проектній точці шляхом об'єднання даних найближчих метеостанцій. Правомірність об'єднання вибірок річних максимумів, статистичних характеристик чи характеристичних значень навантаження перевіряється з використанням процедури дисперсійного аналізу. За результатами аналізу реальних метеоданих з чотирьох кліматичних навантажень знайдено оптимальний спосіб відбору метеостанцій, який дозволяє врахувати максимально можливу кількість однорідних даних і сприяє підвищенню точності оцінювання навантажень на конструкції, що перебувають в експлуатації.

**Ключові слова:** кліматичні навантаження, метеорологічні дані.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ПО МЕТЕОДАНЫМ ПРИ ПОВЕРОЧНЫХ РАСЧЕТАХ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

**Филимонихин Г.Б.**, д.т.н., профессор,  
**Пашинский Н.В.**, аспирант,  
*Центральноукраинский национальный технический университет, г. Кропивницкий*  
filonalone@gmail.com

**Аннотация.** Разработана методика оценивания характеристических значений климатических нагрузок в проектной точке путем объединения данных ближайших метеостанций. Правомерность объединения выборок годовых максимумов, статистических характеристик или характеристических значений нагрузки проверяется с использованием процедуры дисперсионного анализа. По результатам анализа реальных метеоданных для четырех климатических нагрузок найден оптимальный способ отбора метеостанций, который позволяет учесть максимально возможное количество однородных данных, и способствует повышению точности оценивания нагрузок на эксплуатируемые конструкции.

**Ключевые слова:** климатические нагрузки, метеорологические данные.

## DETERMINATION OF CLIMATIC LOADS BY METEOROLOGICAL DATA DURING VERIFICATION CALCULATIONS OF LOAD-BEARING STRUCTURES

**Filimonikhin G.B.**, Doctor of Engineering, Professor,  
**Pashynskiy M.V.**, postgraduate,  
*Central Ukrainian National Technical University, Kropivnitskiy*  
filonalone@gmail.com

**Abstract.** The characteristic values of climatic loads in the design point are determined with considering of the data of the nearest meteorological stations. The possibility of combining of the annual maxima samples, statistical characteristics, or characteristic load values is verified by dispersion analysis procedure. The developed algorithms of calculation are a modification of the

dispersion analysis method. By the example of real meteorological data of four climatic loads the optimal method for selecting weather stations is found, which ensures taking into account the maximum possible number of homogeneous data. The method of combining the characteristic values of loads takes into account smaller amounts of meteorological data and therefore it is recommended to use only in the absence of array of maximum load values or their numerical characteristics. The method of forming a local network of weather stations and the homogeneity checking of the data of the selected weather stations is developed. It is suitable for use in the verification calculations of the constructions that are in operation.

**Keywords:** climatic loads, meteorological data.

**Постановка проблеми.** При виконанні перевірочних розрахунків несучих конструкцій, які перебувають в експлуатації, уточнення кліматичних навантажень за фактичними метеорологічними даними часто дозволяє виявити резерви несучої здатності та відмовитися від підсилення конструкцій або зменшити його обсяги. Навіть за наявності метеорологічної станції поблизу об'єкта розрахункові значення кліматичних навантажень доцільно визначати з урахуванням даних сусідніх метеостанцій, що підвищить точність результатів за рахунок збільшення обсягу використаної метеорологічної інформації. Для цього необхідно розробити методiku визначення характеристичних і розрахункових значень кліматичних навантажень в заданій проектній точці, яка повинна забезпечувати коректне об'єднання даних найближчих метеостанцій з урахуванням ступеню статистичної однорідності та можливих відмінностей між наявними результатами метеорологічних спостережень.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Наведені в ДБН В.1.2-2:2006 [1] карти територіального районування характеристичних значень кліматичних навантажень для значної частини території мають запаси, обумовлені самим принципом картографічного районування. Поширена методика визначення характеристичних значень [2, 3] базується на імовірнісному поданні кліматичних навантажень у формі послідовностей річних максимумів, описаних одним із законів розподілу екстремумів. Пропозиції щодо вибору виду закону розподілу з урахуванням числових характеристик вибірки максимальних значень надані в [4]. При відсутності метеостанції поблизу об'єкта дані найближчих метеостанцій можна врахувати з використанням методу площинної інтерполяції, описаного у відомчих нормах [5] та проаналізованого в [6], а також методу згладжування даних метеостанцій, описаного в [3, 7] та використаного при розробленні карт територіального районування [1]. Іншим перспективним способом збільшення обсягу метеорологічної інформації є об'єднання даних суміжних метеостанцій, правомірність якого можна встановити з використанням процедури дисперсійного аналізу [8] чи інших статистичних критеріїв перевірки однорідності вибірок.

**Метою роботи** є обґрунтування способу відбору найближчих метеостанцій, дані яких доцільно об'єднати для обчислення уточнених характеристичних та розрахункових значень кліматичних навантажень в заданій географічній точці території.

**База метеорологічних даних,** використана для дослідження, містить узагальнені результати спостережень у вигляді числових характеристик вибірок річних максимумів та характеристичних значень ваги снігового покриву, ваги ожеледі, максимального тиску вітру та тиску вітру при ожеледі. Для різних метеостанцій та навантажень в основному наявні дані за 25...50 років спостереження, і лише у 70 випадках з 688 використані дані за 10...24 роки. Мережа зі 172 рівнинних метеостанцій досить повно і рівномірно покриває територію України. В межах кожної адміністративної області знаходиться від 2 до 10 метеостанцій, а на території АР Крим з великою різноманітністю кліматичних зон – 17 метеостанцій.

**Класична постановка** задачі дисперсійного аналізу [8] дозволяє порівняти декілька вибірок за їх математичними сподіваннями. При порівнянні метеорологічних даних розглядаються  $L$  сусідніх метеостанцій з номерами  $k=1...L$ , для кожної з яких наявні вибірки різного обсягу  $N_k$  результатів метеорологічних спостережень  $X_{ki}$ ,  $i=1...N_k$ . Якщо обчислене за формулами [8] значення статистики критерію Фішера не перевищує критичного, наявні вибірки можна об'єднати. Після статистичної обробки об'єднаної вибірки характеристичне значення навантаження обчислюється за методикою [2-4]. Така процедура дисперсійного

аналізу реалізована в багатьох статистичних програмах, у тому числі в табличному процесорі Microsoft Excel.

**Другий варіант** задачі об'єднання даних метеостанцій передбачає відсутність вибірок результатів спостережень, які представлені вже відомими обсягами  $N_k$ , середніми значеннями  $M_k$  та дисперсіями  $D_k$ ,  $k=1...L$ . У цьому випадку процедура дисперсійного аналізу виконується за таким алгоритмом:

1. Обчислюється обсяг  $N$  та середнє значення  $M$  об'єднаної вибірки за формулами:

$$N = \sum_{k=1}^L N_k; \quad M = \sum_{k=1}^L M_k N_k / N. \quad (1)$$

2. Залишкова  $D_3$  та факторна дисперсія  $D_\phi$  обчислюються за формулами:

$$D_3 = \sum_{k=1}^L D_k (N_k - 1) / (N - L); \quad D_\phi = \sum_{k=1}^L N_k (M_k - M)^2 / (L - 1). \quad (2)$$

Залишкова дисперсія в середньому характеризує випадковий розкид даних в межах однієї метеостанції, а факторна дисперсія відображає розкид даних між метеостанціями і тим самим характеризує вплив визначального фактора (територіальної мінливості навантаження для обраної сукупності метеостанцій) на дисперсію об'єднаної вибірки.

3. Обчислюється статистика критерію Фішера  $F = D_\phi / D_3$  і порівнюється з встановленим за таблицями  $F$ -розподілу критичним значенням  $F_{cr}(k_\phi, k_3)$  для обраного рівня значимості (зазвичай  $\alpha=0,05$  або  $\alpha=0,01$ ) та кількості ступенів свободи  $k_\phi=L-1$  і  $k_3=N-L$ .

4. Якщо отримано  $F \leq F_{cr}$ , дані усіх  $L$  метеостанцій можна вважати однорідними та об'єднати їх у загальну вибірку з обсягом і математичним сподіванням (1) та дисперсією:

$$D = \frac{D_3(N-L) + D_\phi(L-1)}{N-1}. \quad (3)$$

З урахуванням математичного сподівання (1) та дисперсії (3) об'єднаної вибірки за методикою [2, 3, 4] обчислюється характеристичне значення навантаження.

5. При  $F > F_{cr}$  дані є неоднорідними. Слід обрати іншу сукупність суміжних метеостанцій та повторити розрахунки за наведеним алгоритмом до отримання  $F \leq F_{cr}$ .

**Практична реалізація** об'єднання даних локальної мережі метеостанцій на основі використання процедури дисперсійного аналізу здійснена для п'яти проектних точок, розміщених у різних регіонах України та перелічених в таблиці 1. При цьому використана узагальнена метеорологічна інформація з описаної вище бази даних. Для більш достовірного визначення розрахункового параметра в проектній точці бажано використати максимально можливу кількість найближчих до неї метеостанцій та відповідно – більші обсяги вихідних метеорологічних даних. Проаналізовано два способи вибору сукупності метеостанцій.

Перший спосіб полягає в тому, що спочатку обираються дві метеостанції, найближчі до проектної точки (включаючи проектну точку при наявності даних) і здійснюється процедура дисперсійного аналізу за їх даними. Після цього поетапно долучаються метеостанції у порядку зростання їх віддаленості від проектної точки та перевіряється можливість їх включення до об'єднаної вибірки. Вибір завершується, коли долучення чергової метеостанції призводить до перевищення  $F$ -критерієм його критичного значення.

Другий спосіб відбору даних для об'єднання реалізується за протилежним принципом. Формується локальна мережа метеостанцій в радіусі до 100 км від проектної точки, що робить неістотними зміни більшості макрокліматичних факторів та в принципі дозволяє об'єднати дані обраних метеостанцій. Реальна можливість об'єднання даних перевіряється за описаною вище процедурою дисперсійного аналізу. Якщо отримано  $F > F_{cr}$ , з мережі вилучається одна метеостанція і процедура перевірки повторюється до отримання  $F < F_{cr}$ , що свідчить про можливість об'єднання результатів метеорологічних спостережень та обчислення узагальнених статистичних характеристик за формулами (1), (3).

Порівняння описаних способів формування локальної мережі метеостанцій виконане на прикладі п'яти розрахункових точок з таблиці 1. Для кожного з навантажень в таблиці вказана кількість метеостанцій, статистичні характеристики яких можна об'єднати. Перший

спосіб об'єднання даних, який базується на послідовному збільшенні кількості метеостанцій, позначено як ЗБ а другий спосіб, який полягає у зменшенні мережі – через ЗМ.

Таблиця 1 – Результати формування локальних мереж метеостанцій в околі проектних точок

Проектна точка	Сніг		Ожеледь		Вітер		Вітер при ожел.	
	ЗБ	ЗМ	ЗБ	ЗМ	ЗБ	ЗМ	ЗБ	ЗМ
Кропивницький	9	9	0	7	3	7	5	7
Львів	4	8	9	9	2	4	0	7
Ніжин	5	8	9	9	7	7	3	7
Харків	9	9	4	7	0	5	0	4
Херсон	9	9	9	9	0	6	2	6

З таблиці видно, що відбір метеостанцій способом зменшення мережі, як правило, дозволяє урахувати більшу кількість даних, ніж при використанні способу збільшення мережі. Обчислення статистичних характеристик об'єднаних вибірок за більшими обсягами даних підвищує точність результатів визначення досліджених навантажень.

**Третій варіант** застосування процедури дисперсійного аналізу передбачає наявність готових характеристичних чи розрахункових значень навантаження  $Q_k$  для кожної з метеостанцій. Їх можна вважати математичними сподіваннями оцінки характеристичного значення, а дисперсії наближено визначити за формулою, отриманою на підставі оцінок точності з [3] та підтвердженою шляхом аналізу метеорологічних даних:

$$D_k = S_Q^2 = 0,36 Q_k^2 / N \quad (4)$$

З урахуванням переходу від незміщених оцінок дисперсій за вибірками до теоретичних оцінок значення  $N-1$  та  $L-1$  у формулах (2) слід замінити на  $N$  та  $L$ . Тоді процедура перевірки можливості об'єднання даних суміжних метеостанцій приймає наступний вигляд:

1. Обчислюється обсяг сумарної вибірки за формулою (1). При відсутності або близькості обсягів вибірок  $N_k$ , за якими обчислені характеристичні значення навантаження, можна наближено вважати їх рівними між собою.

2. Обчислюється середньозважене характеристичне значення навантаження:

$$Q = \sum_{k=1}^L Q_k N_k / N. \quad (5)$$

3. Залишкова та факторна дисперсії визначаються за формулами:

$$D_z = \sum_{k=1}^L (D_k N_k) / N; \quad D_\phi = \sum_{k=1}^L N_k (Q_k - Q)^2 / L. \quad (6)$$

4. Обчислюється статистика критерію Фішера  $F$  і порівнюється з критичним значенням  $F_{cr}(k_\phi, k_3)$  для обраного рівня значимості та кількості ступенів свободи  $k_\phi=L$  і  $k_3=N$ . Якщо отримано  $F \leq F_{cr}$ , дані усіх  $L$  метеостанцій можна вважати однорідними, а шукане характеристичне значення навантаження в проектній точці вважати рівним (5). При  $F > F_{cr}$  слід обрати іншу сукупність метеостанцій, близьких до розрахункової точки, та повторювати розрахунки за наведеним алгоритмом до отримання  $F \leq F_{cr}$ .

Порівняння результатів формування локальної мережі метеостанцій для об'єднання статистичних характеристик (другий варіант процедури дисперсійного аналізу) та об'єднання характеристичних значень (третій варіант) виконане на прикладі п'яти розрахункових точок, які аналізувалися вище. В таблиці 2 вказана кількість метеостанцій, дані яких можна об'єднати при аналізі статистичних характеристик  $M$ ,  $S$  та при аналізі характеристичних значень  $Q_0$  чотирьох кліматичних навантажень. В обох випадках відбір метеостанцій виконувався способом зменшення мережі. Дані таблиці 2 показують, що при аналізі характеристичних значень об'єднуються у 2...3 рази менші кількості метеостанцій, ніж при аналізі статистичних характеристик. Це можна пояснити наближеним характером формули (4), більшими характеристичними значеннями навантажень та меншими їх стандартами (4) порівняно з середніми значеннями та стандартами вибірок річних максимумів. Збільшення розкиду даних,

зростання факторної та зменшення залишкової дисперсії обумовлює ріст значення  $F$ -критерію та зменшення кількості врахованих метеостанцій.

Таблиця 2 – Результати формування локальних мереж метеостанцій при аналізі статистичних характеристик та характеристичних значень навантажень

Проектна точка	Сніг		Ожеледь		Вітер		Вітер при ожел.	
	M, S	Q <sub>0</sub>	M, S	Q <sub>0</sub>	M, S	Q <sub>0</sub>	M, S	Q <sub>0</sub>
Кропивницький	9	3	7	2	7	2	7	3
Львів	8	4	9	3	4	2	7	3
Ніжин	8	3	9	2	7	3	7	2
Харків	9	2	7	2	5	2	4	2
Херсон	9	3	9	2	6	2	6	2

Оскільки метод об'єднання характеристичних значень навантажень (третій варіант процедури дисперсійного аналізу) дозволяє врахувати менші обсяги метеорологічних даних, він забезпечує меншу точність остаточних результатів. Тому його використання можна рекомендувати лише у випадку відсутності числових характеристик вибірок максимальних значень. При наявності вибірок максимумів чи їх числових характеристик рекомендується використовувати перший або другий варіант реалізації дисперсійного аналізу.

#### Висновки за результатами досліджень:

1. З метою підвищення точності результатів за рахунок збільшення обсягу використаної метеорологічної інформації характеристичні значення кліматичних навантажень в заданій точці доцільно визначати з урахуванням даних найближчих метеостанцій.

2. Рішення про можливість об'єднання даних найближчих метеостанцій можна обґрунтовано прийняти за результатами дисперсійного аналізу, застосувавши його до вибірок річних максимумів, статистичних характеристик чи характеристичних значень навантаження. Для двох останніх випадків розроблені спеціальні алгоритми розрахунку.

3. Порівняльний аналіз різних схем відбору даних для об'єднання, виконаний на базі даних 172 метеостанцій України з ваги снігового покриву, ваги ожеледі, максимального тиску вітру та тиску вітру при ожеледі, дозволив запропонувати ефективні схеми формування локальної мережі метеостанцій.

#### Література

- ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. – К.: Мінбуд України, 2007. – 59 с.
- Гумбель Э. Статистика экстремальных значений / Э. Гумбель. – М.: Мир, 1965. – 450 с.
- Пашинський В.А. Методологія нормування навантажень на будівельні конструкції. – Автореф. дис. докт. техн. наук: 05.23.01 / ПДТУ. – Полтава, 1999. – 33 с.
- Філімоніхін Г.Б. До імовірнісного опису послідовностей максимальних значень кліматичних навантажень на будівельні конструкції / Г.Б. Філімоніхін, М.В. Пашинський // Вісник ОДАБА, 2016. – вип. № 64. – С. 110-115.
- Кліматичне забезпечення будівництва та експлуатації електричних мереж. Типова інструкція. – К.: Мінпаливенерго України, 2008. – 26 с.
- Пашинський М.В. Точність визначення кліматичних навантажень в заданій точці території методом інтерполяції за даними суміжних метеостанцій / М.В. Пашинський // Вісник ОДАБА, 2016. – вип. № 61. – С. 303-308.
- Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / Под общей ред. А.В. Перельмутера. – 4-е изд., перераб. – М.: Издательство СКАД СОФТ, издательство АСВ, издательство ДЦМК Пресс, 2014. – 596 с.
- Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1969. – 576 с.

Стаття надійшла 10.10.2017