

Мета роботи полягає в аналізі та адміністративно-територіальному районуванні перепадів кліматичної температури, як силового впливу на будівельні конструкції. Для території кожної з адміністративних областей України встановлені характеристичні значення перепадів температури при літньому та при зимовому замиканні конструкцій.

Сформована в середовищі Microsoft Excel база даних включає 50 приморських, 28 гірських (на висотах понад 500 м над рівнем моря), та 330 рівнинних пунктів спостереження України. Для кожного пункту спостереження наявні температури холодного й теплого півріччя, найхолоднішої та найтеплішої доби, перепади температури при літньому та зимовому замиканні конструкцій, запозичені з раніше виконаних досліджень. Встановлено, що параметри температури повітря на приморських пунктах спостереження мало відрізняються від даних для суміжних рівнинних територій. На гірських пунктах спостереження температури холодного й теплого півріччя, найхолоднішої та найтеплішої доби є істотно нижчими, ніж на суміжних рівнинних територіях, але перепади температур при літньому та при зимовому замиканні конструкцій практично не залежать від висоти над рівнем моря.

Обласні характеристичні значення перепадів температури повітря при літньому замиканні конструкцій змінюються в межах  $-39^{\circ}\text{C} \dots -47^{\circ}\text{C}$ , а при зимовому замиканні – в межах  $+30^{\circ}\text{C} \dots +34^{\circ}\text{C}$ . Загалом додатні та від'ємні перепади температури зростають за абсолютною величиною в напрямку з південного заходу на північний схід України.

Розроблені зміни до наведеного в ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи» порядку визначення температурних кліматичних впливів на несучі будівельні конструкції забезпечують простоту визначення характеристичних значень перепадів температури за рахунок меншої кількості розрахункових параметрів, незалежності перепадів температури від висоти над рівнем моря, заміни карт районування однією таблицею, а також безпомилкове визначення перепадів температури за належністю будівельного майданчика до певної адміністративної області.

**температурні впливи, метеорологічні дані, територіальне районування**

*Одержано (Received) 22.03.2024*

*Прорецензовано (Reviewed) 30.04.2024*

*Прийнято до друку (Approved) 26.06.2024*

**УДК 624.042**

**DOI:** [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9\(40\).2.49-59](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).2.49-59)

**В.М. Гордєєв**, проф., д-р техн. наук, **О.І. Кордун**, інженер

*ТОВ "Український інститут сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського",*

*м. Київ, Україна*

*e-mail: kordunoleksandr@gmail.com*

**В.А. Пашинський**, проф., д-р техн. наук, **М.В. Пашинський**, доц., канд. техн. наук

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

*e-mail: pva.kntu@gmail.com*

## **Аналіз тенденцій довготривалих змін кліматичних навантажень**

За результатами метеорологічних спостережень протягом 1950...2020 років проаналізовані зміни в часі характеристичних значень вітрового тиску та ваги снігового покриву. Попри значні відмінності для різних метеостанцій та різних періодів спостереження, спостерігається загальна тенденція до зменшення навантажень протягом останніх 70 років. Враховуючи несистематичний характер та порівняно невелику інтенсивність виявлених змін, рекомендовано для нормування навантажень об'єднувати дані, отримані в усі періоди спостережень.

**кліматичні навантаження, характеристичні значення, зміни в часі**

© В.М. Гордєєв, О.І. Кордун, В.А. Пашинський, М.В. Пашинський, 2024

**Постановка проблеми.** В основу територіального районування України за кліматичними навантаженнями при розробленні ДБН "Навантаження і впливи" були покладені результати метеорологічних спостережень, які виконувалися у другій

половині 20-го століття. Результати більш пізніх спостережень дозволяють не лише збільшити обсяги метеорологічних даних та уточнити характеристичні значення кліматичних навантажень, але й проаналізувати їх зміни в часі, що можуть бути викликані глобальним потеплінням клімату.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Згідно з вітчизняними та європейськими нормами [1, 2], характеристичними вважаються значення навантажень і впливів, які можуть перевищуватися в середньому один раз на 50 років. Методи обчислення цих значень за імовірнісними моделями квазістаціонарного випадкового процесу та послідовності максимальних значень навантаження детально викладені в [3]. Аналіз, виконаний в [4, 5], підтвердив близькість результатів, отриманих на основі цих моделей навантажень. Це дозволяє обирати імовірнісну модель навантаження з урахуванням структури та обсягу доступних метеорологічних даних.

Довгострокові зміни температури й вологості атмосферного повітря були проаналізовані в [6] на прикладі даних метеостанцій Кіровоградської області. Зростання температури атмосферного повітря в середньому на  $0,02^{\circ}\text{C}/\text{рік}$  загалом узгоджується з відомою тенденцією глобального потепління. Окрім того, виявлене зменшення розмаху відносної вологості повітря при практично незмінному середньорічному значенні. У цій же роботі запропоновано прогнозувати майбутні зміни температури повітря за виявленими рівняннями часового тренду та враховувати їх при нормуванні температурних впливів.

Вплив глобального потепління на інші кліматичні й гідрографічні показники, водні ресурси, екологічну обстановку, здоров'я населення, сільське господарство, енергетику, промисловість та інфраструктуру досить детально проаналізовано в роботах [7, 8], але результати цих досліджень не можуть бути використані при нормуванні кліматичних навантажень.

У 2023 році виповнилося тридцять років з того дня, коли було представлено першу доповідь Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО) стосовно стану клімату та занепокоєння щодо прогнозованих кліматичних змін. 2019, 2020, та 2021 роки було послідовно названо такими, що входять до п'яти, шести та семи найспекотніших років спостережень відповідно. 2023 рік став найспекотнішим роком за всю історію метеорологічних спостережень, що свідчить про подальшу глобальну зміну клімату. Для Європи 2023 рік виявився другим, поступаючись на  $0,17^{\circ}\text{C}$  середній температурі 2020-го року, який був найтеплішим для Європи [9].

Згідно з попереднім звітом ВМО за 2021 рік [10] середня глобальна температура у 2021 році була приблизно на  $1,11 (\pm 0,13)^{\circ}\text{C}$  вищою за доіндустріальний рівень (1850–1900 рр.). Відповідно до звіту Міжурядової групи експертів зі змін клімату (IPCC) [11], середня температура в світі протягом найближчих 20 років зросте більш ніж на  $1,5$  градуса. В цей час в Україні середня річна температура з початку ХХ століття зросла більш ніж на  $2^{\circ}\text{C}$ , в тому числі, на  $1,2^{\circ}\text{C}$  – за останні 30 років [7].

За даними спостережень, середня річна швидкість вітру в Україні зменшилася [12]. Проте для забезпечення надійності будівель і споруд будівельникам важливо знати максимальні швидкості вітрів, які спостерігалися на території будівництва.

Більш конкретні та практично корисні для будівельної галузі результати викладені в роботах [13, 14]. Зокрема, в статті [13] за даними 1945–2015 рр. для 34 метеорологічних станцій України показано, що протягом 70 років середньорічні швидкості вітру на території України зменшилися на 24%, а максимальні – на 34%.

Автор статті [14] на підставі аналізу опублікованих досліджень стверджує, що за останні 40 років на південному заході та північному сході США, а також у Центральній та Східній Європі спостерігається зменшення снігового покриву на 10...20% за десятиліття. Разом з тим, спостерігається збільшення снігового покриву в гірських регіонах Аляски, Канади та Центральної Азії.

Дослідження [7...14] вказують на загальні тенденції змін кліматичних показників, але конкретні дані, які можна використати при нормуванні навантажень на будівлі та споруди на території України, в доступних джерелах не виявлені.

**Постановка завдання.** За даними, отриманими у різні періоди метеорологічних спостережень, проаналізувати зміни в часі статистичних характеристик і характеристик значень навантажень від снігу та вітру, встановити необхідність та способи урахування цих змін при розробленні норм навантажень на будівлі та споруди.

#### **Виклад основного матеріалу.**

**Вітрове навантаження** досліджується й нормується за результатами строкових вимірювань швидкості вітру. Починаючи з 60-тих років ХХ століття, виконуються восьмистрокові вимірювання анеморумбометрами за методикою [15], які забезпечують автоматичне осереднення швидкості та напрямку вітру протягом 10 хвилин. Узагальнені результати таких вимірювань публікувалися в метеорологічних щомісячниках та інших спеціалізованих виданнях.

В роботах [3, 4, 5] показано, що для імовірнісного опису швидкості й тиску вітру слід використовувати одну з двох імовірнісних моделей: квазістаціонарний випадковий процес з розподілом ординати за законом Вейбулла та послідовність річних чи місячних максимумів з розподілом Гумбеля. В [4] встановлено, що розрахункові та характеристичні значення швидкості й тиску вітру досить точно визначаються за сумарними річними розподілами без урахування сезонної нестационарності.

Найбільш інформативними серед доступних даних є таблиці повторюваності швидкості вітру різних градацій для кожного з місяців року та за рік в цілому. Ці дані дозволяють обчислити статистичні характеристики та параметри розподілу Вейбулла для швидкості вітру чи вітрового тиску. Специфіка наявної метеорологічної інформації обумовила використання в подальшому дослідженні імовірнісної моделі випадкового процесу з розподілом ординати, отриманим за сумарними річними гістограмами розподілу швидкості вітру та ефективною частотою  $\omega = 5,5$  1/добу за даними [3, 4].

Для аналізу змін в часі характеристик використані результати метеорологічних спостережень за вітром, отримані на протязі трьох періодів:

- дані з кліматичного кадастру [16] за 1961–1990 роки для 100 метеостанцій;
- дані з метеорологічних щомісячників за 1970–1990 роки для 194 метеостанцій, які були використані при розробленні ДБН [1];
- дані вибіркової мережі метеостанцій за період спостереження з 1991 по 2020 роки.

Для кожної з метеостанцій до бази даних занесені сумарні річні повторюваності швидкості вітру за градаціями, тобто гістограми розподілу швидкості вітру. За ними для кожної з метеостанцій обчислені статистичні характеристики швидкості вітру (середнє значення, стандарт і коефіцієнт варіації), та характеристичні значення швидкості вітру  $v_0$ , як корені нелінійного рівняння, наведеного в [3, 4]:

$$0,4 \omega S \alpha \beta v_0^{\alpha-1} \exp(-\beta v_0^\alpha) - 1/T = 0, \quad (1)$$

де  $\alpha, \beta$  – параметри розподілу Вейбулла, визначені за формулами з [3];

$S$  – стандарт сумарного річного розподілу швидкості вітру;

$\omega = 5,5$  1/добу = 2008 1/рік – ефективна частота випадкового процесу швидкості вітру;

$T = 50$  років – період повторюваності характеристичного значення швидкості вітру.

Отримані за формулою (1) характеристичні значення швидкості вітру  $v_0$  перетворені в характеристичні значення вітрового тиску за формулою

$$W_0 = 0,61 \times v_0^2. \quad (2)$$

Створена таким чином база узагальнених даних містить 13 метеостанцій, дані яких наявні для усіх трьох вказаних вище періодів спостереження. Ці дані наведені в таблиці 1 і використані нижче для аналізу змін у часі статистичних характеристик швидкості вітру та характеристичних значень вітрового тиску. Наведені в таблиці значення висоти над рівнем моря  $H$  дозволяють вважати всі метеостанції рівнинними.

Таблиця 1 – Характеристики швидкості та тиску вітру за даними трьох періодів метеорологічних спостережень

Метеостанції	H, м	1961-1990 роки			1970-1990 роки			1991-2020 роки			Річні прирости		
		$M_1$	$S_1$	$W_{01}$	$M_2$	$S_2$	$W_{02}$	$M_3$	$S_3$	$W_{03}$	$\Delta_M$	$\Delta_S$	$\Delta_W$
Вінниця	296	3,66	2,59	488	3,40	2,52	457	3,88	2,11	350	0,01	-0,02	-4,50
Дніпро	141	4,79	2,89	642	4,68	2,74	581	4,33	2,38	450	-0,01	-0,02	-6,02
Запоріжжя	59	3,05	2,29	378	2,63	1,95	276	1,61	1,11	90	-0,05	-0,04	-8,88
Івано-Франк.	270	3,32	2,56	472	3,14	2,45	430	2,87	2,16	336	-0,01	-0,01	-4,28
Київ	166	2,77	1,80	243	2,47	1,72	219	2,58	1,38	153	0,00	-0,01	-2,90
Львів	319	3,95	2,42	459	3,78	2,30	414	3,08	2,08	329	-0,03	-0,01	-4,03
Маріуполь	68	5,82	4,35	1369	5,52	4,10	1218	4,82	2,75	593	-0,03	-0,05	-25,6
Одеса	42	4,05	2,32	380	3,64	2,21	339	2,95	1,89	242	-0,03	-0,01	-4,35
Полтава	160	3,99	3,07	676	3,52	2,87	583	2,93	1,88	266	-0,03	-0,04	-13,4
Суми	294	4,13	2,48	447	3,90	2,37	407	3,76	2,06	318	-0,01	-0,01	-4,05
Ужгород	115	2,86	2,01	238	2,58	1,85	202	2,44	1,73	177	-0,01	-0,01	-1,71
Харків	154	4,28	2,53	496	4,06	2,36	432	3,88	2,11	353	-0,01	-0,01	-4,25
Херсон	26	3,86	2,46	456	3,28	2,00	296	2,97	1,95	275	-0,02	-0,01	-4,35
Мінімум	26	2,77	1,80	238	2,47	1,72	202	1,61	1,11	90	-0,05	-0,05	-25,6
Максимум	319	5,82	4,35	1369	5,52	4,10	1218	4,82	2,75	593	0,01	-0,01	-1,71
Середнє	162	3,89	2,60	519	3,58	2,42	450	3,24	1,97	303	-0,02	-0,02	-6,79

Джерело: розроблено авторами

Зведена таблиця 1 дозволяє проаналізувати зміни в часі середніх значень  $M$  і стандартів  $S$  швидкості вітру, а також характеристичних значень вітрового тиску  $W_0$ . Перегляд показує, що практично в усіх випадках параметри, наведені в таблиці, зменшуються з часом. Виняток становлять середні значення швидкості вітру на метеостанціях Вінниці та Києва. У якості прикладу на рисунку 1 показані зміни в часі характеристичних значень вітрового тиску на окремих метеостанціях. По осі абсцис відкладені значення, що відповідають середині періоду спостережень, тобто 1975, 1980 і 2005 календарні роки.

Залежності усіх проаналізованих параметрів від календарного часу для кожної метеостанції описані лінійними рівняннями, яке для характеристичних значень вітрового тиску має вигляд

$$W_0(t) = A_0 + t \cdot \Delta_W, \quad (3)$$

де  $t$  – календарний час в роках;

$\Delta_W$  – інтенсивність зміни (річний приріст) характеристичних значень вітрового тиску.

Залежності інших параметрів від часу описуються аналогічними рівняннями. Річні прирости статистичних характеристик швидкості вітру наведені в останніх стовпцях таблиці 1, а в трьох останніх рядках цієї таблиці вказані межі зміни та середні значення усіх розглянутих параметрів. Гістограма розподілу річних приростів характеристичних значень вітрового тиску показана на рисунку 2. З рисунка та останнього стовпця таблиці 1 видно, що для переважної більшості метеостанцій ці прирости змінюються в межах  $-8,9 \dots -1,7$  Па/рік. Набагато інтенсивніші зміни, які виходять ці межі, спостерігаються на метеостанціях Маріуполь і Полтава. Середній по Україні приріст характеристичних значень вітрового тиску, обчислений без урахування аномальних значень для цих метеостанцій, становить  $-4,5$  Па/рік. Це значення можна використати для наближеного прогнозування майбутніх змін у часі характеристичних значень вітрового тиску.

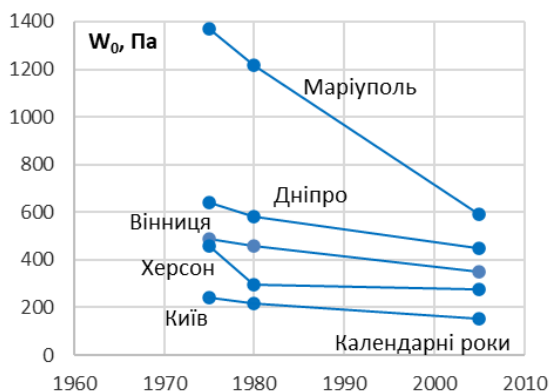


Рисунок 1 – Зміни характеристичних значень вітрового тиску в часі

Джерело: розроблено авторами

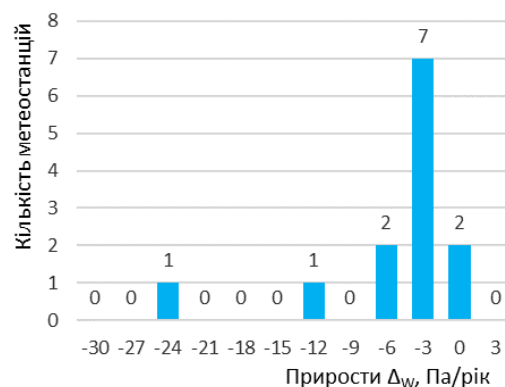


Рисунок 2 – Розподіл приростів характеристичних значень вітрового тиску

Джерело: розроблено авторами

**Снігове навантаження** досліджується й нормується за результатами снігомірних зйомок, які виконуються згідно з методикою [11]. Як правило, для опису величини ваги снігового покриву використовується імовірнісна модель послідовності річних максимумів, розподілених за законом Гумбеля [3, 5]. Тоді розрахункові та характеристичні значення ваги снігового покриву обчислюються за формулою:

$$Q_m(T) = \alpha - \beta \cdot \ln[-\ln(1-1/T)], \quad (4)$$

де  $T$  – період повторюваності розрахункового значення (для характеристичного значення ваги снігового покриву  $T = 50$  років);

$\alpha$ ,  $\beta$  – параметри розподілу Гумбеля, визначені за формулами з [3] через середнє значення, стандарт і обсяг вибірки річних максимумів.

Нижче аналізуються три групи результатів снігомірних зйомок, які для кожного пункту спостереження містять середні значення й стандарти розподілів річних максимумів ваги снігового покриву:

- результати снігомірних зйомок на 220 метеорологічних станціях і постах України протягом 1950...1990 років, отримані з метеорологічних щорічників і використані при розробленні ДБН [1];
- результати снігомірних зйомок на 136 метеостанціях протягом 1961...1990 років, представлені в Кліматичному кадастрі України [16] у вигляді середніх значень і стандартів річних максимумів ваги снігового покриву (запасу води);
- аналогічні попереднім даним результати снігомірних зйомок на 63 метеостанціях протягом 1991...2020 років.

Для кожної метеостанції та кожного періоду спостережень за наявними статистичними характеристиками річних максимумів ваги снігового покриву за формулами з [3] обчислені параметри розподілу Гумбеля та характеристичні значення ваги снігового покриву  $Q_0$  при середньому періоді повторюваності 50 років. Для першої групи даних враховані фактичні обсяги вибірок річних максимумів у межах від 10 до 40. Для двох останніх груп даних обсяги вибірок прийняті рівними 30.

Виявлено 54 метеостанції, дані яких наявні для усіх періодів спостереження. Подальший аналіз цих даних виконано за методикою, аналогічною описаному вище аналізу даних з вітрового тиску. В таблиці 2, як і в останніх рядках таблиці 1, для трьох періодів спостережень наведені узагальнені результати статистичного аналізу даних 54 співпадаючих метеостанцій, а саме найменші, найбільші та середні для 54 метеостанцій значення усіх проаналізованих параметрів: середніх значень  $M$  та стандартів  $S$  річних максимумів, а також характеристичних значень  $Q_0$  ваги снігового покриву.

Таблиця 2 – Характеристики ваги снігового покриву за даними трьох періодів метеорологічних спостережень

Характеристики	Н, м	1950-1990 роки			1961-1990 роки			1991-2020 роки			Річні прирости		
		$M_1$	$S_1$	$Q_{01}$	$M_2$	$S_2$	$Q_{02}$	$M_3$	$S_3$	$Q_{03}$	$\Delta_M$	$\Delta_S$	$\Delta_Q$
Мінімум	12	198	125	568	170	142	600	110	120	473	-6,40	-6,48	-22,0
Максимум	594	874	547	2358	790	581	2459	850	638	2732	3,51	7,44	25,0
Середнє	179	459	304	1379	454	322	1429	394	283	1250	-1,90	-0,86	-4,48

Джерело: розроблено авторами

На рисунку 3, побудованому за даними таблиці 2, вибірково показані зміни в часі характеристичних значень ваги снігового покриву для шести метеостанцій. Як і при аналізі вітрового тиску, по осі абсцис відкладені значення, що відповідають серединам трьох періодів спостережень, тобто 1970, 1975 і 2005 календарні роки. На рисунку спостерігаються досить несистематичні зміни в часі характеристичних значень ваги снігового покриву. Аналогічний характер мають також зміни середніх значень і стандартів вибірок річних максимумів.

Наведені в останніх стовпцях таблиці 2 коефіцієнти лінійних рівнянь виду (3), які дорівнюють річним приростам характеристичних значень ваги снігового покриву, можуть приймати як додатні, так і від'ємні значення, тобто на різних метеостанціях снігове навантаження зростає або зменшується з часом. Зображена на рисунку 4 гістограма розподілу річних приростів характеристичних значень ваги снігового покриву вказує на досить широкий діапазон їх зміни. Зменшення снігового навантаження спостерігається на 41 метеостанції, а збільшення – на 13 метеостанціях з 54 проаналізованих. Середнє значення річного приросту характеристичних значень ваги снігового покриву  $\Delta_Q = -4,5$  Па/рік можна вважати досить близьким до нуля.

Аналіз повних результатів обробки даних усіх 54 метеостанцій показав, що у Закарпатській та Львівській області переважають додатні прирости характеристичних значень ваги снігового покриву, а для Вінницької, Дніпропетровської, Запорізької, Київської, Сумської та Харківської областей характерним є зниження снігового навантаження з часом. Разом з тим, є приклади значного розкиду приростів ваги снігового покриву в межах однієї області. Наприклад,  $-10,6$  Па/рік для Ізмаїла та  $+17,1$  Па/рік для Роздільної Одеської області;  $-12,5$  Па/рік для Глухова та  $+14,9$  Па/рік для метеостанції Ромни Сумської області. Такий розкид не дозволяє встановити загальну для території України тенденцію змін ваги снігового покриву в часі.

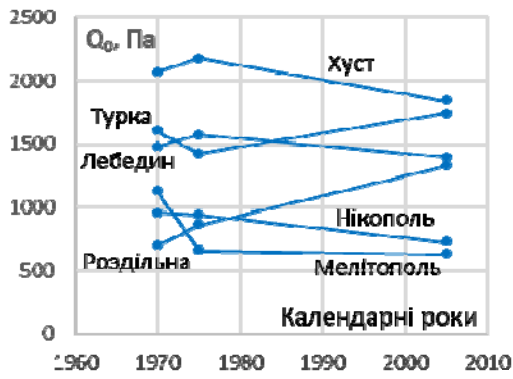


Рисунок 3 – Зміни характеристичних значень ваги снігового покриву в часі

Джерело: розроблено авторами



Рисунок 4 – Розподіл приростів характеристичних значень ваги снігового покриву

Джерело: розроблено авторами

**Узагальнення характеристичних значень навантажень.** Вище показано, що статистичні характеристики й характеристичні значення вітрового тиску та ваги снігового покриву з часом переважно зменшуються та встановлені швидкості таких змін у вигляді річних приростів навантажень. З таблиці 1 видно, що характеристичні значення вітрового тиску зменшуються досить систематично. Дані таблиці 2 показують, що характеристичні значення ваги снігового покриву спочатку зростають від  $Q_{01}$  до  $Q_{02}$  в середньому на 4%, а від  $Q_{02}$  до  $Q_{03}$  зменшуються в середньому на 11%. На рисунках 5 і 6 наведені гістограми розподілу різниць між найменшими та найбільшими (в середньому по території) характеристичними значеннями навантажень.

В метеорології [15] прийнято вважати результати 30-річних спостережень кліматичною нормою, тобто досить стабільними показниками клімату. Не дивлячись на це, рисунки 5, 6, а також повні результати розрахунків вказують на значні відмінності статистичних характеристик і характеристичних значень навантажень, визначених для однієї й тієї ж метеостанції за даними різних періодів спостереження. Для більшості метеостанцій різниці характеристичних значень вітрового тиску  $W_{03} - W_{01}$  змінюються в межах  $-40...-26\%$ . Ще більші відхилення, які перевищують 50%, виявлені для метеостанцій Запоріжжя, Маріуполь і Полтава. Різниці характеристичних значень ваги снігового покриву  $Q_{03} - Q_{02}$  для 43 метеостанцій змінюються в межах  $-46...0\%$ , а для 11 метеостанцій навпаки, спостерігається зростання до 82%. Додатні різниці спостерігаються на метеостанціях Закарпатської та Львівської областей, де виявлені додатні річні прирости ваги снігового покриву.



Рисунок 5 – Розподіл різниць характеристичних значень вітрового тиску  $W_{03} - W_{01}$

Джерело: розроблено авторами



Рисунок 6 – Розподіл різниць характеристичних значень ваги снігового покриву  $Q_{03} - Q_{02}$

Джерело: розроблено авторами

Детальний аналіз первісних даних та визначених за ними характеристичних значень не дозволив виявити причини істотних змін цих даних у часі для окремих метеостанцій. Наявні відхилення не вдалося пов'язати з географічним положенням метеостанцій чи систематизувати за іншими ознаками. Тому раціональний підхід до узагальнення наявних результатів спостережень полягає в осередненні отриманих характеристичних значень вітрового тиску та ваги снігового покриву з урахуванням тривалості метеорологічних спостережень в різні періоди.

Осереднення наявних даних, які були отримані в різні періоди метеорологічних спостережень, можна виконати двома способами. Найпростіший підхід полягає у визначенні середньозважених характеристичних значень з ваговими множниками, рівними кількості років спостережень. Узагальнене характеристичне значення ваги снігового покриву чи вітрового тиску обчислюється за однією з формул:

$$W_0 = \frac{1}{N_0} \sum_i (W_i N_i) \quad Q_0 = \frac{1}{N_0} \sum_i (Q_i N_i), \quad (5)$$

де  $N_0$  – сумарна кількість років спостереження в усіх періодах;

$N_i$  – кількість років спостереження в  $i$ -тому періоді;

$W_i, Q_i$  – характеристичні значення вітрового тиску та ваги снігового покриву, обчислені за даними  $i$ -того періоду спостережень.

Більш точний спосіб отримання характеристичних значень, узагальнених за усіма періодами метеорологічних спостережень, базується на визначенні статистичних характеристик об'єднаної вибірки результатів метеорологічних спостережень за відомими формулами

$$N_0 = \sum_i N_i, \quad M_0 = \frac{1}{N_0} \sum_i (M_i N_i), \quad S_0 = \sqrt{\frac{1}{N_0} \sum_i (S_i^2 N_i)}, \quad (6)$$

де  $N_i$  та  $N_0$  – кількості років спостереження в  $i$ -тому періоді та сумарна ;

$M_i$  та  $S_i$  – середні значення та стандарти вибірки річних максимумів ваги снігового покриву чи розподілу результатів строкових вимірювань швидкості вітру.

Наявність числових характеристик об'єднаної вибірки (6) дозволяє визначити характеристичні значення швидкості вітру з формули (1) та перерахувати їх у характеристичні значення вітрового тиску за формулою (2). Характеристичні значення ваги снігового покриву обчислюються за формулою (4) з урахуванням середнього значення й стандарту об'єднаної вибірки річних максимумів (6).

За двома викладеними способами обчислені характеристичні значення вітрового тиску для 13 метеостанцій та ваги снігового покриву для 54 метеостанцій, дані яких аналізувалися вище. Порівняння показало, що осереднені за формулою (5) характеристичні значення вітрового тиску відхиляються від результатів обчислення за формулами (1), (2) з урахуванням статистичних характеристик об'єднаних вибірок (6) на  $-0,1 \dots +1,8\%$ . Осереднені за формулою (5) характеристичні значення ваги снігового покриву перевищують результати обчислення за формулою (4) з урахуванням числових характеристик об'єднаної вибірки (6) на  $0,3 \dots 6,5\%$ . Незначна відмінність результатів вказує на доцільність використання більш достовірного способу встановлення характеристичних значень на основі осереднення статистичних характеристик за формулами (6).

**Висновки.** Аналіз характеристичних значень вітрового тиску й ваги снігового покриву, визначених за даними різних періодів метеорологічних спостережень, вказує на наявність тенденції до зменшення цих навантажень протягом останніх десятиліть.



1. Характеристичні значення вітрового тиску на 11 метеостанціях з 13 досліджених зменшуються в середньому на 4,5 Па/рік; для двох інших метеостанцій інтенсивність зменшення є значно більшою і становить 13,4 Па/рік та 25,6 Па/рік.

2. На 41 метеостанції з 54 спостерігається зменшення характеристичних значень ваги снігового покриву, а на 13 метеостанціях снігове навантаження з часом зростає. Річні прирости характеристичних значень ваги снігового покриву змінюються в межах  $-22\dots+25$  Па/рік при середньому зменшенні на 4,5 Па/рік.

4. Значний розкид швидкостей зміни характеристичних значень вітрового тиску та ваги снігового покриву на різних метеостанціях не дозволяє узагальнити цей показник по території України та використати його для прогнозування величин навантажень.

5. За наявності декількох груп даних характеристичні значення вітрового та снігового навантаження доцільно визначати через статистичні характеристики швидкості вітру та ваги снігового покриву, осереднені за даними усіх наявних періодів метеорологічних спостережень, без урахування виявлених змін у часі.

## Список літератури

1. 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.
2. European standard. Eurocode. Basis of structural design. CEN, July 2001. 89 p.
3. Пашинський В.А. Атмосферні навантаження на будівельні конструкції на території України. К.: УкрНДІпроектстальконструкція, 1999. 185 с.
4. Пашинський В.А. Методологія нормування навантажень на будівельні конструкції: автореф. дис. докт. техн. наук: 05.23.01. Полтава, 1999. 33 с.
5. Пічугін С.Ф. Розрахунок надійності будівельних конструкцій: монографія. Полтава: ТОВ «АСМІ», 2016. 520 с.
6. Pashynskiy, M.; Pashynskiy, V.; Tykhyi, A.; and Karpushyn, S. (2023). Long-term forecasting of thermal and humidity actions on buildings. *Advances in Civil and Architectural Engineering*. Vol. 14, Issue No. 26. pp. 1-9. URL: <https://hrcak.srce.hr/ojs/index.php/aca/article/view/23612/13552>  
DOI: <https://doi.org/10.13167/2023.26.1> (дата звернення: 25.06.2024).
7. Іванюта С.П., Коломієць О. О., Малиновська О. А., Якушенко Л. М. Зміна клімату: наслідки та заходи адаптації: Аналітична доповідь. К.: НІСД, 2020. 110 с. URL: [https://niss.gov.ua/sites/default/files/2020-10/dop-climate-final-5\\_sait.pdf](https://niss.gov.ua/sites/default/files/2020-10/dop-climate-final-5_sait.pdf) (дата звернення: 25.06.2024).
8. Зміна клімату в Україні та світі: Причини, наслідки та рішення для протидії. *Екодія*. URL: [https://ecoaction.org.ua/zmina-klimatu-ua-ta-svit.html?gad\\_source=1&gclid=CjwKCAjwo6GyBhBwEiwAzQTmcyieAdhQxolcX7Nq4-PoVs6PKA8Z3gZos1X0vyellqjXj6Siv4zrLxoCdCQQAvD\\_BwE](https://ecoaction.org.ua/zmina-klimatu-ua-ta-svit.html?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwo6GyBhBwEiwAzQTmcyieAdhQxolcX7Nq4-PoVs6PKA8Z3gZos1X0vyellqjXj6Siv4zrLxoCdCQQAvD_BwE) (дата звернення: 25.06.2024).
9. Copernicus: 2023 is the hottest year on record, with global temperatures close to the 1.5°C limit. URL: <https://climate.copernicus.eu/copernicus-2023-hottest-year-record> (дата звернення: 25.06.2024)
10. State of the Global Climate 2021 [Електронний ресурс]. World Meteorological Organization (WMO). 2022. No. 1290. URL: [https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice\\_display&id=22080#.YvKN-BRByUk](https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=22080#.YvKN-BRByUk) (дата звернення: 25.06.2024).
11. AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis [Електронний ресурс]. *Working Group I. IPCC Sixth Assessment Report*, 2021. URL: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Full\\_Report.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf) (дата звернення: 25.06.2024).
12. Вишневецький В. І. Багаторічні зміни водного режиму річок України. Київ: Накова думка, 2022 р. 252 с.
13. Лялько В.І., Єлістратова Л.О., Апостолов О.А., Ходоровський А.Я. Зміна параметрів вітру на території України в період глобальних кліматичних змін. *Доповіді Національної академії наук України*. 2019, №10. URL: <https://www.dopovidi-nanu.org.ua/sites/default/files/2019/10/2019-10-8.pdf> (дата звернення: 25.06.2024).
14. 40-річне дослідження клімату виявило тривожні тенденції зменшення снігового покриву. Portaltelle – Український телекомунікаційний портал. URL: <https://portaltelle.com.ua/news/nauka/>

- 40-richne-doslidzhennya-klimatu-viyavilo-trivozhni-tendentsiyi-zmshennya-snigovogo-pokrivu.html (дата звернення: 25.06.2024).
15. Настанова гідрометеорологічним станціям і постам. Випуск 3. Частина 1. Метеорологічні спостереження на станціях: Видання офіційне. К.: Державна гідрометеорологічна служба, 2011. 280 с.
  16. Кліматичний Кадастр України (електронна версія). Державна гідрометеорологічна служба УкрНДГМІ. Центральна Геофізична Обсерваторія. К., 2006.

## References

1. Systema zabezpechennya nadiynosti ta bezpeky budivel'nykh ob'yektiv. Navantazhennya i vplyvy. Normy proektuvannya [System for ensuring the reliability and safety of construction objects. Loads and influences. Design standards]. *DBN V.1.2-2:2006*. K.: Minbud Ukrayiny, 2007. 60 p. [in Ukrainian].
2. European standard. Eurocode - Basis of structural design. CEN, July 2001. 89 p.
3. Pashyns'kyj, V.A. (1999). Atmosferni navantazhennya na budivel'ni konstruktsiyi na terytoriyi Ukrayiny [Atmospheric loads on building structures in the territory of Ukraine]. K.: UkrNDIproekt-stal'konstruktsiya, 1999. 185 p. [in Ukrainian].
4. Pashyns'kyj, V.A. Metodolohiya normuvannya navantazhen' na budivel'ni konstruktsiyi [Methodology of normalization of loads on construction structures]. *Extended abstract of Doctor's thesis*. [in Ukrainian].
5. Pichugin S.F. (2016). *Rozrakhunok nadiynosti budivel'nykh konstruktsiy [Reliability calculation of building structures]*. Poltava: ASMI LLC [in Ukrainian]
6. Pashynskyi, M.; Pashynskyi, V.; Tykhyi, A.; and Karpushyn, S. (2023). Long-term forecasting of thermal and humidity actions on buildings. *Advances in Civil and Architectural Engineering. Vol. 14, Issue No. 26*. pp. 1-9. <https://hrcak.srce.hr/ojs/index.php/aca/article/view/23612/13552> DOI: <https://doi.org/10.13167/2023.26.1> (date of access: 25.06.2024). [in Ukrainian].
7. Ivanyuta, S.P., Kolomiets, O.O., Malinovska, O.A. & Yakushenko, L.M. (2020). *Zmina klimatu: naslidky ta zakhody adaptatsiyi [Climate change: consequences and adaptation measures]*. K.: NISD [https://niss.gov.ua/sites/default/files/2020-10/dop-climate-final-5\\_sait.pdf](https://niss.gov.ua/sites/default/files/2020-10/dop-climate-final-5_sait.pdf) (date of access: 25.06.2024). [in Ukrainian].
8. Zmina klimatu v Ukrayini ta sviti: Prychyny, naslidky ta rishennya dlya protydyi. [Climate change in Ukraine and the world: Causes, consequences and solutions for countermeasures]. *Ecodia*. [https://ecoaction.org.ua/zmina-klimatu-ua-ta-svit.html?gad\\_source=1&gclid=CjwKCAjwo6GyBhBwEiwAzQTmcyieAdhQxolcX7Nq4-PoVs6PKA8Z3gZos1X0vyellqjXj6Siv4zrLxoCdCQQAvD\\_BwE](https://ecoaction.org.ua/zmina-klimatu-ua-ta-svit.html?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwo6GyBhBwEiwAzQTmcyieAdhQxolcX7Nq4-PoVs6PKA8Z3gZos1X0vyellqjXj6Siv4zrLxoCdCQQAvD_BwE) (date of access: 25.06.2024). [in Ukrainian].
9. Copernicus: 2023 is the hottest year on record, with global temperatures close to the 1.5°C limit. <https://climate.copernicus.eu/copernicus-2023-hottest-year-record> (date of access: 25.06.2024).
10. State of the Global Climate 2021. World Meteorological Organization (WMO). 2022. No. 1290. [https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice\\_display&id=22080#.YvKN-BRByUk](https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=22080#.YvKN-BRByUk) (date of access: 25.06.2024).
11. AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis. *Working Group I*. IPCC Sixth Assessment Report, 2021. [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Full\\_Report.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf) (date of access: 25.06.2024).
12. Vyshnevskiy, V.I. & Kutsiy, A.V. (2022). Bahatorichni zminy vodnoho rezhymu richok Ukrayiny [Long term changes in the water regime of rivers in Ukraine]. Naukova dumka, Kyiv [in Ukrainian].
13. Lyalko, V.I., Yelistratova, L.O., Apostolov, O.A. & Khodorovsky A.Ya. (2019). Zmina parametriv vitru na terytoriyi Ukrayiny v period hlobal'nykh klimatychnykh zmin. [Changes in wind parameters on the territory of Ukraine during the period of global climate change.]. Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine. No. 10. <https://www.dopovidi-nanu.org.ua/sites/default/files/2019/10/2019-10-8.pdf> (date of access: 25.06.2024). [in Ukrainian].
14. 40-richne doslidzhennya klimatu vvyavilo tryvuzhni tendentsiyi zmshennya snihovoho pokryvu [A 40-year study of the climate revealed alarming trends in the reduction of snow cover]. Portaltele – Ukrainian telecommunications portal. <https://portaltele.com.ua/news/nauka/40-richne-doslidzhennya-klimatu-viyavilo-trivozhni-tendentsiyi-zmshennya-snigovogo-pokrivu.html> (access date: 25.06.2024). [in Ukrainian].
15. Nastanova hidrometeorolohichnym stantsiyam i postam [Instructions to hydrometeorological stations and posts]. Issue 3. Part 1. Meteorological observations at stations: Official edition. K.: State hydrometeorological service, 2011. 280 p. [in Ukrainian].

16. Klimatychnyy Kadastr Ukrayiny [Climatic Cadastre of Ukraine]. Eelectronic version. State hydrometeorological service of UkrNDGMI. Central Geophysical Observatory. K., 2006. [in Ukrainian].

**Vadym Hordeiev**, Prof., DSc., **Oleksandr Kordun**, engineer

*LLC "V.M. Shymanovsky Ukrainian Institute of Steel Structures", Kyiv, Ukraine*

**Victor Pashynskyi**, Prof., DSc., **Mykola Pashynskyi**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

*Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine*

### **Analysis of trends in long-term changes in climatic loads**

The purpose of the work is to identify changes in the characteristic values of loads from snow and wind over the past decades, as well as to justify the need to take these changes into account when developing load standards for buildings and structures.

Characteristic values of wind pressure are determined by the probabilistic model of a random process. The necessary parameters of the Weibull distribution for 13 weather stations of Ukraine are determined by the histograms of the distribution of the results of wind speed measurements obtained in three different periods of meteorological observations during the years 1961...2020. The characteristic values of the snow load are determined by the probabilistic model of the sequence of annual maxima with the Gumbel distribution. For this purpose, the average values and standards of the annual maximum snow cover weight at 54 weather stations, obtained from the results of snow measurement surveys in three different observation periods during 1950...2020, were used. According to the data of each weather station, the rates of characteristic values of loads change over time are determined. Characteristic values of wind pressure at 11 weather stations out of 13 that were considered decrease by an average of 4.5 Pa/year. For two weather stations, the intensity of the decrease is much greater and equals to 13.4 Pa/year and 25.6 Pa/year. At 41 weather stations out of 54 studied, a decrease in the characteristic values of snow cover weight is observed, and at 13 weather stations, the snow load increases over time. Annual increases in the characteristic values of the weight of the snow cover vary within the range of -22...+25 Pa/year with an average decrease of 4.5 Pa/year.

As a result of the study, it was found that the significant spread of the rates of change of the characteristic values of loads over time at different weather stations does not allow to generalize this indicator on the territory of Ukraine. In the presence of several groups of data, it is recommended to determine the characteristic values of wind and snow load through the statistical characteristics of wind speed and weight of snow cover, averaged over the data of all available periods of meteorological observations, without taking into account the detected changes in time.

**climate loads, characteristic values, changes over time**

*Одержано (Received) 21.04.2024*

*Прорецензовано (Reviewed) 08.05.2024*

*Прийнято до друку (Approved) 26.06.2024*