

УДК 624.042.1

[https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12\(43\).1.366-374](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12(43).1.366-374)

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

Сполучення навантажень на покрівлі виробничих і цивільних будівель

Для восьми типів покриттів, конструкції яких відповідають вимогам норм і є характерними для сучасного будівництва, визначені статистичні характеристики ваги окремих шарів та покриттів у цілому. Коефіцієнти сполучення навантажень від ваги усіх шарів змінюються в межах від 0,91 до 1,0. З урахуванням статистичних характеристик постійного навантаження від ваги покриттів та снігу обчислені коефіцієнти сполучення навантажень на покрівлі у межах 0,92...1,0 та встановлена їх залежність від характеристик діючих навантажень.

навантаження від ваги покриттів, снігові навантаження, коефіцієнти сполучення

Постановка проблеми. Випадковий характер навантажень від снігу та ваги покриттів обумовлює необхідність імовірнісного розв'язання задачі про урахування спільної дії цих навантажень на несучі конструкції. Згідно з ДБН В.1.2-14:2018 "Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд із Зміною №1" [1] ефект від спільної дії навантажень слід враховувати спільними чи роздільними коефіцієнтами сполучення, які встановлюються з умови рівнозабезпеченості сумарного навантажувального ефекту та розрахункових значень окремих навантажень і можуть бути рівними або меншими від одиниці. Чинні ДБН В.1.2-2:2006 "Навантаження і впливи" [2] не передбачають урахування коефіцієнтів сполучення постійних навантажень, а також постійного та снігового навантаження. Результати досліджень можливих значень коефіцієнтів сполучення навантажень від ваги шарів покриттів та снігу в доступній літературі не виявлені.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Традиційний спосіб урахування спільної дії навантажень викладено в ДБН В.1.2-2:2006 "Навантаження і впливи" видання 2007 року [3]. Сума навантажувальних ефектів (зусиль чи напружень в елементі конструкції) множилася на коефіцієнт сполучення, який для постійних навантажень приймався рівним $\psi = 1$, для змінних тривалих навантажень $\psi = 1$, а для двох і більше короткочасних $\psi = 0,9$. При цьому слід було розглянути декілька варіантів сполучення навантажень з урахуванням логіки їх взаємодії. Чинні ДБН від 2020 р. [2] передбачають урахування роздільних коефіцієнтів сполучення, які залежать від вкладу змінних навантажень у сумарний навантажувальний ефект. В комбінації постійних та одного змінного навантаження приймається коефіцієнт сполучення $\psi = 1$.

Роздільні коефіцієнти сполучення встановлені також в EN 1990:2002 [4], аналогом яких в Україні є ДСТУ-Н Б В.1.2-13:2008 "Основи проектування конструкцій" [5]. Провідне навантаження враховується без зниження, а супутні навантаження множаться на коефіцієнти сполучення, вказані в [4, 5] залежно від виду навантаження, мети розрахунку та призначення будівлі, на яку воно діє. При цьому слід розглянути декілька сполучень з різними провідними навантаженнями та вибрати найнебезпечнішу комбінацію. Такий підхід вимагає виконання значної кількості розрахунків при різних виборах провідного навантаження.

Статистично обґрунтовані значення коефіцієнтів сполучення, отримані методами

теорії надійності на базі реальних статистичних даних про навантаження, визначені в результаті досліджень К.С. Лосицької, Б.Ю. Уварова та П.Д. Окулова, С.Ф. Пічугіна та В.А. Пашинського. Результати цих та інших досліджень спільної дії навантажень на будівельні конструкції стисло викладені в [6, 7] та узагальнені в статтях [8, 9]. У роботах К.С. Лосицької на основі опису снігового та вітрового навантажень у формі послідовностей максимальних значень із застосуванням методу статистичного моделювання отримані коефіцієнти сполучення зусиль в конструкціях при спільній дії навантажень від снігу, вітру, мостових і підвісних кранів. Дослідження П.Д. Окулова присвячені урахуванню спільної дії на конструкції покриттів виробничих будівель навантажень від снігу та підвісних кранів. Імовірнісні моделі навантажень обґрунтовані за результатами метеорологічних спостережень в різних географічних районах та дослідження навантажень від підвісних кранів у режимі нормальної експлуатації декількох цехів.

Дослідження В.А. Пашинського [6] базуються на реальних результатах метеорологічних спостережень за вітром і сніговим покривом приблизно на сотні метеостанцій, переважна більшість яких розташована на території України. На базі цих даних розроблені ймовірнісні моделі ваги снігового покриву та вітрового тиску у формі квазістаціонарних диференційованих випадкових процесів з річним періодом нестационарності. Імовірнісні моделі навантаження від мостових кранів у формі стаціонарних диференційованих випадкових процесів з нормальним розподілом ординати побудовані шляхом узагальнення результатів раніше виконаних досліджень кранових навантажень у цехах машинобудівельної та металургійної промисловості. За розробленою ймовірнісною методикою, стисло викладеною в [6, 7], та узагальненими характеристиками процесів навантажень отримані коефіцієнти сполучення зусиль в елементах каркасів виробничих будівель від спільної дії снігу, вітру та мостових кранів. Представлена аналітичним виразом залежність спільного коефіцієнта сполучення від часток трьох навантажень у складі сумарного зусилля утворює провисаючу поверхню з мінімальним значенням близько 0,7.

Результати роботи [6] були включені до ДБН [10] та пізніше перенесені в ДСТУ Б В.2.6-210:2016 "Оцінка технічного стану сталевих будівельних конструкцій, що експлуатуються" [11]. Для визначення коефіцієнта сполучення за [11] необхідно встановити частки снігового, вітрового та кранового навантажень у складі сумарного зусилля в елементі конструкції, що у випадку складного напруженого стану вимагає знання перерізів усіх елементів конструкції. Тому ця методика рекомендована нормами [11] для використання в перевірочних розрахунках існуючих конструкцій, для яких перерізи конструктивних елементів вже відомі.

Виконаний огляд показав, що існують та використовуються при проектуванні декілька методів урахування спільної дії змінних навантажень, але жоден з чинних нормативних документів [2...5, 11] не передбачає зниження сумарного розрахункового ефекту при урахуванні декількох постійних та одного змінного навантаження.

Мета роботи: отримати коефіцієнти сполучення навантажень від ваги різних шарів покриттів, а також від снігу та ваги покриттів; проаналізувати доцільність їх урахування та можливий економічний ефект.

Статистичні характеристики навантажень. Для обчислення коефіцієнтів сполучення необхідно представити усі навантаження у формі випадкових величин. Згідно з [7, 15], навантаження від ваги окремих шарів покриття та покрівлі в цілому описуються нормальним законом розподілу, для чого слід вказати математичні сподівання та стандарти.

Для аналізу обрані вісім конструкцій покриттів, які відповідають вказівкам ДБН [12] в частині конструктивних рішень, вимогам ДБН [13] до опору теплопередачі та при цьому охоплюють практично увесь можливий діапазон вагових характеристик. Найпростішим і найлегшим є холодне покриття зі сталевого профільованого настилу по прогонах, яке може використовуватися для навісів, ангарів та холодних складських приміщень. Найскладнішими за конструкцією і найважчими є експлуатовані покриття з рослинним шаром або з тротуарною плиткою, які зазвичай використовуються в житлових і громадських будівлях.

Для кожного з покриттів підібрана товщина теплоізоляційного шару, яка забезпечує опір теплопередачі R_{Σ} відповідно до вимог ДБН [13] та пошарово підраховані характеристичне та граничне розрахункове значення навантаження від його ваги згідно з вимогами ДБН [2]. Технічні характеристики матеріалів прийняті за ДСТУ [14], а коефіцієнти варіації середньої густини встановлені за узагальненими даними [7, 15]. Стандарт навантаження від ваги кожного шару покриття дорівнює добутку характеристичного значення $G_0 = M_G$ на відповідний коефіцієнт варіації. Загальний стандарт розподілу сумарного навантаження від ваги усієї конструкції покриття обчислюється відомою формулою теорії ймовірностей:

$$S_G = \sqrt{\sum_{i=1}^N S_{Gi}^2}, \quad (1)$$

де N – кількість шарів покриття;

S_{Gi} – стандарти ваги i -того шару.

Узагальнений коефіцієнт надійності за навантаженням від ваги усього покриття дорівнює відношенню його граничного розрахункового значення до характеристичного $\gamma_f = G_m/G_0$. Отримані таким чином характеристики покриттів наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Характеристики покриттів та навантажень від них

Тип покр.	Призначення та загальна характеристика покриття	N	R_{Σ}	G_0 , Па	γ_f	G_m , Па	S_G , Па
Тип 1	Холодне покриття для навісів та складів із профнастилу по прогонах	2	0,16	210	1,05	221	3,23
Тип 2	Покриття по профнастилу для виробничих будівель з надлишками тепла	6	0,57	298	1,08	321	4,77
Тип 3	Утеплене покриття для виробничих будівель на основі профнастилу	6	2,17	418	1,11	465	18,3
Тип 4	Утеплене покриття для громадських будівель на основі профнастилу	6	7,07	996	1,20	1196	73,7
Тип 5	Експлуатована покрівля з рослинним шаром по профнастилу для цивільних будівель	9	6,92	1247	1,25	1554	107,1
Тип 6	Утеплене покриття для виробничих будівель на основі ребристих залізобетонних плит	6	2,16	2810	1,17	3301	205,2
Тип 7	Утеплене покриття для цивільних будівель на основі залізобетонних плит	6	6,99	4265	1,16	4945	318,6
Тип 8	Експлуатована покрівля з тротуарною плиткою для цивільних будівель на основі залізобетонних плит	6	6,94	6038	1,14	6897	432,3

Джерело: розроблено авторами.

Характеристичні значення ваги снігового покриву, наведені на карті районування ДБН [2], змінюються по території України від 800 Па для першого снігового району до 1800 Па для шостого снігового району. Статистичні характеристики ваги снігового покриву визначалися та аналізувалися в численних дослідженнях, зокрема в [6, 7]. З метою отримання узагальнених результатів, які

відображатимуть можливі значення характеристик снігового навантаження на усій території України, для подальших розрахунків скористаємося результатами роботи [16], у якій за даними метеостанцій України отримані математичні сподівання та стандарти річних максимумів ваги снігового покриву для кожного з шести районів, виділених на карті територіального районування ДБН [2]. В таблиці 2, запозиченій з [16], наведені такі характеристики снігового покриву:

Номер району на карті ДБН [2].

N – кількість метеостанцій, за даними яких в [16] були визначені статистичні характеристики.

Q_0 – характеристичне значення ваги снігового покриву з карти ДБН [2].

M_Q – математичне сподівання розподілу річних максимумів.

S_Q – стандарт розподілу річних максимумів.

V_Q – коефіцієнт варіації розподілу річних максимумів.

Таблиця 2 – Районні характеристики річних максимумів ваги снігового покриву

Район ДБН [2]	N	Q_0 , Па	M_Q , Па	S_Q , Па	V_Q	Q_{50} , Па
1	11	800	211	132	0,626	554
2	23	1000	276	192	0,697	777
3	20	1200	344	224	0,651	926
4	58	1400	451	293	0,650	1213
5	43	1600	531	353	0,665	1448
6	17	1800	649	398	0,613	1683

Джерело: розроблено авторами.

В останньому стовпці таблиці 2 наведені характеристичні значення ваги снігового покриву, обчислені для періоду повторюваності $T = 50$ років через районні статистичні характеристики за формулою з [7], яка базується на описі вибірки річних максимумів законом розподілу Гумбеля:

$$Q_{50} = M_Q + S_Q \cdot [0,78 \cdot \ln(T) - 0,45] \approx M_Q + 2,6 \cdot S_Q. \quad (2)$$

З таблиці 2 видно, що значення $Q_{50} < Q_0$, тому що районні характеристичні значення Q_0 встановлені близькими до максимальних по території кожного району. Наведені в таблиці 2 значення математичного сподівання M_Q і стандарту S_Q для усіх снігових районів ДБН [2] охоплюють практично всі характеристики ваги снігового покриву, можливі на території України за винятком гірських метеостанцій, і можуть використовуватися для визначення коефіцієнтів сполучення снігового та постійного навантажень на кроквяні конструкції.

Сполучення навантажень від ваги окремих шарів покриття. Виходячи з визначення [1, 2], коефіцієнти сполучення обчислюються як відношення розрахункового значення сумарного навантаження від ваги покриття G_β з заданим рівнем забезпеченості β до суми розрахункових значень ваги окремих шарів з тим же рівнем забезпеченості:

$$\psi = G_\beta / G_m = (G_0 + t_\beta \cdot S_G) / \sum_{i=1}^N G_{mi}. \quad (3)$$

Аналіз результатів визначення навантажень від ваги покриттів показав, що рівень забезпеченості розрахункових значень навантажень від окремих шарів усіх розглянутих покриттів у середньому становить 0,96. Тому до формули (3) було підставлене значення аргументу нормального розподілу $t_\beta = 1,751$, яке відповідає

забезпеченості $\beta = 0,96$. Вихідні дані та результати обчислень за формулою (3) для восьми розглянутих типів покриттів наведені в таблиці 3 та на рисунку 1.

Таблиця 3 – Результати обчислення коефіцієнтів сполучення навантажень від ваги шарів покриття

Тип покр.	G_0 , Па	γ_f	G_m , Па	S_G , Па	ψ за (3)	ψ за (4)
Тип 1	210	1,05	221	3,23	0,978	0,999
Тип 2	298	1,08	321	4,77	0,956	0,997
Тип 3	418	1,11	465	18,3	0,969	0,990
Тип 4	996	1,20	1196	73,7	0,940	0,943
Тип 5	1307	1,25	1632	99,4	0,908	0,893
Тип 6	2810	1,19	3353	205,2	0,945	0,949
Тип 7	4265	1,16	4945	318,6	0,975	0,972
Тип 8	6038	1,14	6897	432,3	0,985	0,980

Джерело: розроблено авторами.

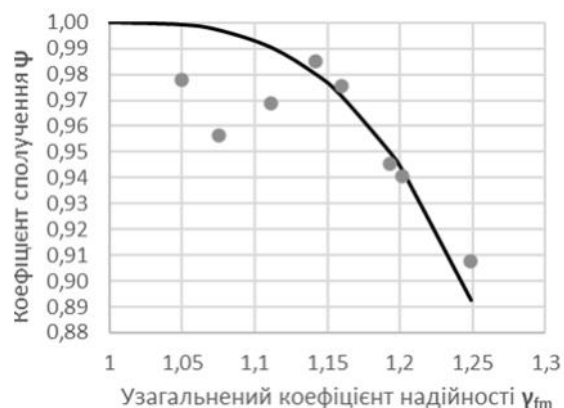


Рисунок 1 – Коефіцієнти сполучення навантажень від ваги шарів покриття
Джерело: розроблено авторами.

З таблиці 3 та рисунка 1 видно, що коефіцієнти сполучення навантажень від окремих шарів покриття змінюються в межах 0,908...0,985, загалом зменшуючись з ростом узагальнених коефіцієнтів надійності за навантаженням γ_f . Отримана залежність має досить великий розкид при малих значеннях γ_f , але в запас надійності може бути описана аналітичним виразом:

$$\psi = 1 - 7 \cdot (\gamma_f - 1)^3, \quad (4)$$

результати обчислення за яким наведені в таблиці 3 і показані на рисунку 1 суцільною лінією. Таким чином, при великих коефіцієнтах надійності γ_f урахування коефіцієнтів сполучення навантажень від окремих шарів покриття за формулою (4) може знизити сумарне розрахункове значення від ваги покриття до 10%.

Сполучення навантажень від ваги покриття та снігу. Ідентичні схеми прикладення постійного та снігового навантаження на кроквяні конструкції дозволяють безпосередньо додавати ці навантаження, не враховуючи коефіцієнти впливу, що забезпечують перехід від навантажень до зусиль в конструкціях. З іншого боку, задача ускладнюється тим, що розподіл річних максимумів ваги снігового покриву підпорядковується асиметричному закону Гумбеля [7], який істотно відрізняється від нормального розподілу Гауса. Тому розподіл випадкової величини суми постійного та снігового навантаження також відрізняється від нормального, що слід враховувати при визначенні коефіцієнтів сполучення постійного та снігового навантаження.

Методика визначення коефіцієнтів сполучення снігового й постійного навантаження побудована на основі методики розрахунків надійності, розробленої в [7, 17]. Постійне навантаження представлене нормально розподіленою величиною з математичним сподіванням M_G і стандартом S_G . Снігове навантаження задане у вигляді випадкової величини річних максимумів ваги снігового покриву, яка описується розподілом Гумбеля [7] з математичним сподіванням M_Q , стандартом S_Q та незмінним коефіцієнтом асиметрії $A_Q = 1,14$. З урахуванням спрощень унаслідок дії лише постійного й снігового навантаження та відсутності коефіцієнтів впливу, формули з [17] для числових характеристик сумарного навантаження P можна записати у вигляді:

$$M_P = M_G + M_Q, \quad S_P = \sqrt{S_G^2 + S_Q^2}, \quad A_P = 1,14 \cdot S_Q^3 / S_P^3. \quad (5)$$

У формулах (5) враховано, що коефіцієнт асиметрії нормального розподілу постійного навантаження дорівнює нулю, а коефіцієнт асиметрії розподілу Гумбеля для снігового навантаження завжди дорівнює 1,14.

Сума випадкових величин постійного і снігового навантаження описується змішаним розподілом Гумбеля-Гауса [7, 17], інтегральна функція якого має вигляд:

$$F(P) = C \cdot \exp \left[-\exp \left(\frac{M_P - P}{0,78 \cdot S_P} \right) - 0,577 \right] + (1 - C) \cdot F_{Gauss}(P, M_P, S_P), \quad (6)$$

де C – ваговий коефіцієнт, рівний $C = 0,8775 \cdot A_P$;

$F_{Gauss}(P, M_P, S_P)$ – функція нормального розподілу з M_P та S_P за формулами (5).

Прирівнявши функцію розподілу (6) до заданого рівня забезпеченості β , отримуємо нелінійне рівняння

$$\beta - C \cdot \exp \left[-\exp \left(\frac{M_P - P}{0,78 \cdot S_P} \right) - 0,577 \right] - (1 - C) \cdot F_{Gauss}(P, M_P, S_P) = 0, \quad (7)$$

чисельний розв'язок якого відносно P дає розрахункове значення сумарного навантаження, що відповідає заданій забезпеченості β .

Згідно з загальними принципами урахування спільної дії навантажень [1, 2], коефіцієнт сполучення дорівнює відношенню розрахункового значення сумарного навантаження P , визначеного як розв'язок рівняння (7) при забезпеченості $\beta = 0,98$, до суми розрахункових значень постійного та снігового навантаження, що відповідають тому ж рівню забезпеченості $\beta = 0,98$:

$$\psi = P / (Q_{50} + G_0 + 2,054 \cdot S_G). \quad (8)$$

За викладеною методикою та формулою (8) обчислені коефіцієнти сполучення для 48 комбінацій снігового й постійного навантажень (8 типів покриттів з таблиці 1 та 6 снігових районів з таблиці 2). Отримані коефіцієнти сполучення змінюються від 0,919 до 0,995. Графічний аналіз різних варіантів дозволив виявити залежність коефіцієнтів сполучення від аргументу:

$$X = G_0 \cdot (\gamma_f - 1) / Q_0. \quad (9)$$

де γ_f – узагальнений коефіцієнт надійності для постійного навантаження;

G_0 і $Q_0 = Q_{50}$ – характеристичні значення постійного та снігового навантаження.

Залежність коефіцієнтів сполучення від аргументу (9), зображена на рисунку 2, є достатньо тісною, але має досить складну форму. Спроби її опису аналітичним виразом привели до отримання надто складних формул, які незручно використовувати в практичних розрахунках. Тому прийняте рішення про графічне подання залежності коефіцієнтів сполучення від характеристик постійного та снігового навантаження. Ця залежність представлена на рисунку 2 суцільною лінією, яка дозволяє визначати коефіцієнти сполучення з достатньою для інженерних розрахунків точністю. Мінімальне значення коефіцієнта сполучення за наведеною кривою $\psi = 0,923$ відповідає аргументу $X = 0,4$ за формулою (9). Рекомендована крива відображає верхню межу дослідних точок і тим самим гарантує запас надійності при її використанні.

Наприклад, для умов більшості частини території Кіровоградської області з характеристичним значенням снігового навантаження за [2] $Q_0 = 1400$ Па отримуємо:

- для утепленої покрівлі виробничої будівлі типу 3 з $G_0 = 418$ Па та $\gamma_f = 1,11$ отримуємо $X = 0,033$ та $\psi = 0,985$;

- для утепленої покрівлі громадської будівлі типу 3 з $G_0 = 996$ Па та $\gamma_f = 1,20$ отримуємо $X = 0,033$ та $\psi = 0,947$;

- для експлуатованої покрівлі з тротуарною плиткою для громадської будівлі типу 8 з $G_0 = 6038$ Па та $\gamma_f = 1,14$ отримуємо $X = 0,142$ та $\psi = 0,929$.

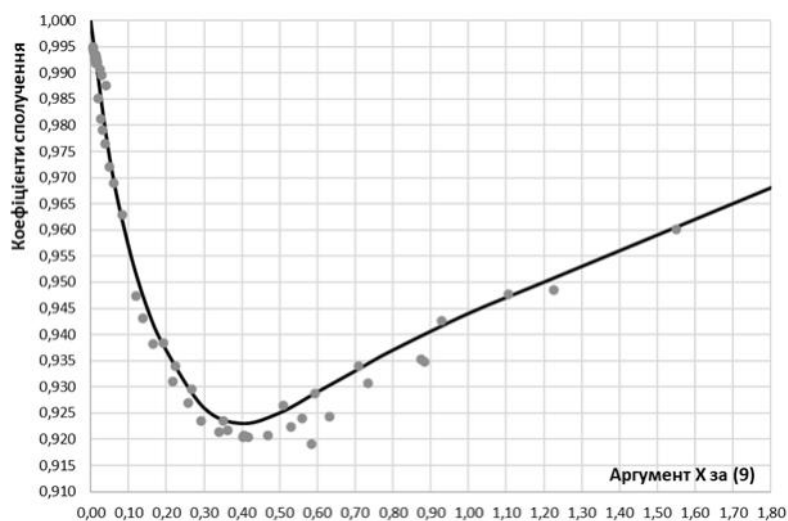


Рисунок 2 – Коефіцієнти сполучення навантажень від снігу та ваги покриття

Джерело: розроблено авторами.

Згідно з таблицею 2, за винятком особливо легких покриттів типів 1 і 2, коефіцієнти надійності за постійним навантаженням змінюються від 1,11 до 1,25 і в середньому складають $\gamma_f = 1,18$. Підстановка до формули (9) цього значення та величини аргументу $X = 0,4$, при якому реалізується найменший коефіцієнт сполучення $\psi = 0,923$, дає співвідношення характеристичних значень постійного та снігового навантаження $G_0 / Q_0 \approx 2,2$. Отже, найменші значення коефіцієнтів сполучення будуть отримані при вазі покриття $G_0 \approx 1760$ Па в першому сніговому районі за ДБН [2] та $G_0 \approx 3960$ Па в шостому сніговому районі. При інших співвідношеннях ваги покриття та снігового навантаження у більшості випадків будуть отримані коефіцієнти сполучення, ближчі до одиниці. Незначне зменшення розрахункових навантажень унаслідок урахування отриманих коефіцієнтів сполучення може дати позитивний ефект при перевірочних розрахунках конструкцій, що перебувають в експлуатації.

Висновки. 1. Навантаження від ваги окремих шарів та покриттів у цілому представлені у формі нормально розподілених випадкових величин. Для восьми типів покриттів, які охоплюють практично увесь можливий діапазон вагових характеристик, математичні сподівання прийняті рівними характеристичним значенням, а коефіцієнти варіації змінюються від 0,015 для найпростіших неутеплених покриттів до 0,076 для складних багатошарових експлуатованих покриттів.

2. Коефіцієнти сполучення навантажень від ваги шарів покриттів, визначені з умови рівної забезпеченості розрахункових значень навантажень від ваги окремих шарів та покриття в цілому, змінюються в межах від 0,91 до 1,0. Для їх визначення при проєктуванні встановлена залежність від узагальненого коефіцієнта надійності за навантаженням від ваги усього покриття.

3. Коефіцієнти сполучення навантажень від ваги покриттів та снігу визначені з використанням статистичних характеристик сумарної ваги покриттів восьми типів та ваги снігового покриву для шести районів ДБН В.1.2-2:2006. Методика визначення коефіцієнтів сполучення базується на описі випадкових величин постійного навантаження від ваги покриттів нормальним розподілом та змінного снігового навантаження законом розподілу Гумбеля.

4. Коефіцієнти сполучення навантажень від ваги покриттів та снігу змінюються в межах 0,92...1,0. Для їх визначення при проєктуванні кроквяних конструкцій рекомендована графічна залежність від аргументу, що враховує характеристичні

значення обох навантажень, а також коефіцієнт надійності за розрахунковим значенням навантаження від ваги покриття.

5. У більшості випадків використання отриманих коефіцієнтів сполучення не дасть істотного економічного ефекту при проектуванні кроквяних конструкцій, але їх урахування може бути доцільним при виконанні перевірочних розрахунків конструкцій, які перебувають в експлуатації.

Список літератури

1. ДБН В.1.2-14:2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. Київ : Мінрегіон України, 2018. 30 с.
2. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. Зі змінами № 1 і № 2. Київ : Мінбуд України, 2020. 68 с.
3. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. Київ : Мінбуд України, 2007. 60 с.
4. EN 1990:2002. Eurocode – Basis of structural design. [Authority: The European Union per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC]. 116 p.
5. ДСТУ-Н Б В.1.2-13:2008 (EN 1990:2002, IDT). Система надійності та безпеки у будівництві. Настанова. Основи проектування конструкцій. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 101 с.
6. Пашинський В. А. Сполучення зусиль від атмосферних і кранових навантажень, що діють на сталеві каркаси одноповерхових виробничих будівель : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01. 1986. 23 с.
7. Пашинський В. А. Атмосферні навантаження на будівельні конструкції на території України. Київ : УкрНДІпроектстальконструкція, 1999. 185 с.
8. Перельмутер А. В., Пічугін С. Ф. Відносно нової редакції ДБН В.1.2-14:2018. *Наука та будівництво*. 2022. Т. 32, № 2. С. 19–29. DOI: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-08-2022-2>.
9. Перельмутер А. В., Пічугін С. Ф. Розрахункові сполучення навантажень для перевірки надійності конструкцій (огляд). *Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського*. 2015. Вип. 15. С. 4–47.
10. ДБН 362-92. Оцінка технічного стану сталевих конструкцій виробничих будівель і споруд, що знаходяться в експлуатації. Київ : Укрархбудінформ, 1995. 46 с.
11. ДСТУ Б В.2.6-210:2016. Оцінка технічного стану сталевих будівельних конструкцій, що експлуатуються. Київ : Мінрегіон України, 2016. 53 с.
12. ДБН В.2.6-220:2017. Покриття будівель і споруд. Київ, 2017. 43 с.
13. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. Київ : Міністерство розвитку громад та територій України, 2022. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3075196638495507996?doc_type=2 (дата звернення: 10.06.2025).
14. ДСТУ 9191:2022. Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023. 60 с. URL: <https://eurobud.ua/wp-content/uploads/2023/05/dstu-9191-2022-teploizolyacziya-budivel-metod-vyboru-teploizolyaczijnogo-materialu-dlya-uteplennya-budivel.pdf> (дата звернення: 10.06.2025).
15. Шульгін В. В., Карюк А. М. Імовірнісне подання технічних характеристик теплоізоляційних матеріалів. *Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво)*. 2013. Вип. 4(39), Т. 2. С. 257–262.
16. Прокопенко Д. С., Пашинський В. А. Територіальне районування статистичних характеристик річних максимумів снігового та вітрового навантажень. *Досвід впровадження в навчальний процес сучасних комп'ютерних технологій* : матеріали II Всеукр. студент. наук.-практ. конф. Кропивницький : ЦНТУ, 2020. С. 37–39.
17. Пашинський В. А. Інженерна методика оцінювання показників надійності стержнів металевих кроквяних ферм. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2017. № 66. С. 48–53.

References

1. DBN V.1.2-14:2018. (2018). *System for ensuring reliability and safety of building objects. General principles for ensuring the reliability and structural safety of buildings and structures*. Kyiv: Ministry for Regional Development of Ukraine. [in Ukrainian]
2. DBN V.1.2-2:2006. (2020). *System for ensuring reliability and safety of building objects. Loads and impacts. Design standards. With amendments No. 1 and No. 2*. Kyiv: Ministry of Construction of Ukraine. [in Ukrainian]
3. DBN V.1.2-2:2006. (2007). *System for ensuring reliability and safety of building objects. Loads and impacts. Design standards*. Kyiv: Ministry of Construction of Ukraine. [in Ukrainian]
4. EN 1990:2002. (2002). *Eurocode – Basis of structural design*. Authority: The European Union per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC.
5. DSTU-N B V.1.2-13:2008 (EN 1990:2002, IDT). (2009). *System of reliability and safety in construction. Guidance. Basics of structural design*. Kyiv: Minregionbud of Ukraine. [in Ukrainian]

6. Pashynskiy, V. A. (1986). *Combination of forces from atmospheric and crane loads acting on steel frames of single-story industrial buildings* (Author's abstract of PhD dissertation). Moscow. [in Russian]
7. Pashynskiy, V. A. (1999). *Atmospheric loads on building structures in the territory of Ukraine*. Kyiv: UkrNDIproektstalkonstruktciya. [in Ukrainian]
8. Perelmuter, A. V., & Pichugin, S. F. (2022). On the new edition of DBN V.1.2-14:2018. *Science and Construction*, 32(2), 19–29. <https://doi.org/10.33644/2313-6679-08-2022-2> [in Ukrainian]
9. Perelmuter, A. V., & Pichugin, S. F. (2015). Design load combinations for structural reliability assessment (review). *Collected Scientific Papers of the Ukrainian Institute of Steel Structures named after V. M. Shymanovskiy*, 15, 4–47. [in Ukrainian]
10. DBN 362-92. (1995). *Assessment of the technical condition of steel structures of industrial buildings and structures in operation*. Kyiv: Ukrarkhbudininform. [in Ukrainian]
11. DSTU B V.2.6-210:2016. (2016). *Assessment of the technical condition of steel building structures in operation*. Kyiv: Ministry for Regional Development of Ukraine. [in Ukrainian]
12. DBN V.2.6-220:2017. (2017). *Roofing of buildings and structures*. Kyiv. [in Ukrainian]
13. DBN V.2.6-31:2021. (2022). *Thermal insulation and energy efficiency of buildings*. Kyiv: Ministry for Communities and Territories Development of Ukraine. Retrieved from https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3075196638495507996?doc_type=2 [in Ukrainian]
14. DSTU 9191:2022. (2023). *Thermal insulation of buildings. Method for selecting thermal insulation material for building insulation*. Kyiv: SE “UkrNDNC.” Retrieved from <https://eurobud.ua/wp-content/uploads/2023/05/dstu-9191-2022-teploizolyacziya-budivel-metod-vyboru-teploizolyacziynogo-materialu-dlya-uteplennya-budivel.pdf> [in Ukrainian]
15. Shulhin, V. V., & Kariuk, A. M. (2013). Probabilistic representation of technical characteristics of thermal insulation materials. *Collected Scientific Papers (Mechanical Engineering, Construction)*, 4(39)(2), 257–262. [in Ukrainian]
16. Prokopenko, D. S., & Pashynskiy, V. A. (2020). Territorial zoning of statistical characteristics of annual maxima of snow and wind loads. In *Experience of introducing modern computer technologies into the educational process: Proceedings of the 2nd All-Ukrainian Student Scientific and Practical Conference* (p. 37–39). Kropyvnytskyi: CNTU. [in Ukrainian]
17. Pashynskiy, V. A. (2017). Engineering method for assessing reliability indicators of steel truss rods. *Bulletin of the Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture*, 66, 48–53. [in Ukrainian].

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

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine,

Combination of Loads on Roofs of Industrial and Civil Buildings

The study was carried out with the aim of obtaining load combination coefficients from the weight of different roof layers, as well as from the weight of tiling and snow load. The dependences of the obtained combination coefficients on the characteristics of the loads, as well as the feasibility of taking them into account in structural calculations, were analyzed.

The selected roof structures meet the requirements of the norms for structural solutions and heat transfer resistance and cover almost the entire range of possible loads from their weight. The loads from the weight of individual layers are presented in the form of normally distributed random variables given by mean values and standard deviations. The combination coefficients are determined by probabilistic methods under the condition of equal provision of the design values of the loads from the weight of individual layers and the roof as a whole. The obtained combination coefficients vary in the range from 0.91 to 1.0. To determine them during design period, a dependence on the generalized reliability coefficient for the load from the weight of the entire roof is established.

To determine the combination coefficients, statistical characteristics of the total weight of eight types of roofs and the weight of snow cover for six regions of DBN V.1.2-2:2006 were used. The method for determining the combination coefficients is based on the description of random variables of the constant load from the weight of roofs by a normal distribution and the variable snow load by the Gumbel distribution law. The obtained combination coefficients vary within 0.92...1.0. To determine them when designing truss structures, a graphical dependence on the argument is recommended, which takes into account the characteristic values of both loads, as well as the reliability coefficient for the design value of the load from the weight of the roof.

Based on the results of the research, the following dependences are recommended for determining the load combination coefficients on the weight of individual layers, as well as on the roof weight and snow load. The obtained combination coefficients should be taken into account when performing verification calculations of truss structures that are in operation.

load from the roof weight, snow loads, combination coefficients

Одержано (Received) 22.04.2025

Прорецензовано (Reviewed) 27.05.2025

Прийнято до друку (Approved) 24.06.2025