

УДК 624.042.42 (477)

С.Ф. Пічугін, д.т.н., проф.
Н.М. Попович, ст. викл.

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ЗНАЧЕНЬ СНІГОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ХОЛОДНІ ПОКРІВЛІ

Розроблено методику визначення розрахункових значень снігового навантаження на покрівлі будівель з надлишковими виділеннями тепла, яка базується на ймовірній моделі імпульсного випадкового процесу послідовності снігопадів і враховує інтенсивність танення снігу на покрівлі.

Ключові слова: снігове навантаження, нормування снігового навантаження, приріст снігового навантаження.

Постановка проблеми. Будівлі з надлишковими виділеннями тепла зазвичай мають холодні покрівлі, на яких відбувається танення снігового покриву. Розрахункові значення снігового навантаження на такі покрівлі слід установлювати, виходячи з характеристик окремих снігопадів та інтенсивності танення снігу на покрівлі. Крім того, розрахункові значення снігових навантажень необхідно визначати з урахуванням установлених термінів експлуатації покрівель, як вимагають норми проектування [1,2] щодо граничних розрахункових значень змінних навантажень.

Огляд останніх джерел, досліджень і публікацій та виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Загальні методи ймовірнісного опису та нормування снігового навантаження розроблені в роботах [3, 4] з урахуванням накопичення снігу протягом зими, що не відповідає вимозі встановлення розрахункових значень навантаження від одного снігопаду. У попередніх роботах обґрунтовано ймовірнісну модель для подання послідовності снігопадів у вигляді імпульсного випадкового процесу, а в роботі [5] отримано статистичні характеристики послідовностей снігопадів для території України. Розроблена ймовірнісна модель та дані роботи [5] дають змогу перейти до визначення й нормування розрахункових значень снігового навантаження на холодні покрівлі будівель з надлишковими виділеннями тепла, що експлуатуються на території України.

Мета дослідження полягає в розробленні практичної методики обчислення розрахункових значень снігового навантаження на холодні покрівлі будівель з надлишковими виділеннями тепла з урахуванням характеристик снігопадів та інтенсивності танення снігу на покрівлі.

Ймовірнісна модель для опису послідовності снігопадів і методика визначення її характеристик за результатами снігомірних зйомок розроблені в попередніх дослідженнях [6]. Протягом зими послідовність снігопадів утворює стаціонарний імпульсний процес з експоненціальними законами розподілу висоти імпульсу (величини одного снігопаду) та часу між імпульсами. Для оперування таким процесом достатньо обчислити математичне сподівання величини одного снігопаду, середню тривалість зими та середню кількість снігопадів протягом однієї зими.

Снігове навантаження на холодні покрівлі будівель з надлишковими виділеннями тепла слід визначати за характеристиками найбільшого ймовірного снігопаду з урахуванням процесу танення снігу на покрівлі. Найбільше навантаження від одного снігопаду з відомими детермінованими характеристиками можна обчислити за формулою

$$q = q_c \left(1 - \frac{T_c I_T}{q_c} \right) = q_c - T_c I_T, \quad (1)$$

де q_c і T_c – величина й тривалість снігопаду; I_T – інтенсивність танення снігу на покрівлі.

Формула (1) враховує, що сніг на покрівлі розтає під час самого снігопаду, що зменшує швидкість накопичення снігу та величину снігового навантаження. При невеликій інтенсивності снігопаду $I_c = q_c / T_c$ може скластися навіть така ситуація, що сніг розтає швидше, ніж накопичується, і навантаження на покрівлі взагалі не створюється. У результаті за формулою (1) буде отримано значення $q \leq 0$.

Усі величини, що входять до формули (1) є випадковими, що робить її результат також випадковою величиною. Статистичні характеристики й закони розподілу аргументів формули (1) досліджувалися в попередніх роботах [5, 6, 7], основні результати яких наведено нижче.

Величина окремого снігопаду q_c розподілена за експоненціальним законом, параметр котрого можна визначити шляхом статистичної обробки результатів снігомірних зйомок за методикою, викладеною в наших роботах. Значення математичного сподівання величини снігопаду для різних метеостанцій України отримано в роботі [5].

Тривалість снігопадів T_c досліджено в роботі [6]. Вони є випадковими величинами, характеристики яких мало залежать від географічного положення місцевості, висоти над рівнем моря та інших факторів. З достатньою точністю для всієї території України тривалість снігопадів можна вважати випадковою величиною з розподілом Вейбулла, що має математичне сподівання $M = 12$ годин, стандарт $S = 4,8$ години, коефіцієнт варіації $V = 0,4$. При такому значенні коефіцієнта варіації розподіл Вейбулла має близький до нуля коефіцієнт асиметрії, що дозволяє наближено описати тривалість снігопаду нормальним законом розподілу.

Інтенсивність танення снігу I_T на скляних покрівлях теплиць з температурою внутрішнього повітря $20 - 25^\circ\text{C}$ досліджено в роботі [5] теоретико-розрахунковим та експериментальним шляхом. Її можна вважати випадковою величиною, розподіленою за законом Вейбулла з коефіцієнтом варіації $V = 0,45$ і математичним сподіванням, залежним від температури внутрішнього і зовнішнього повітря. Внутрішню температуру доцільно вважати постійною в межах $20^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}$, а температуру зовнішнього повітря прийняти такою, що дорівнює середній температурі за п'ять місяців зимового періоду (з листопада по березень), протягом яких бувають снігопади.

Перетворення випадкових величин за формулою (1) повинно дати функцію розподілу $F_q(q)$ величини снігового навантаження, що реалізується на холодній покрівлі протягом одного снігопаду. Нелінійність цього перетворення та невизначеність виду закону розподілу результату обумовлює доцільність використання методу статистичного моделювання (методу Монте-Карло) [8], який може бути реалізований у двох варіантах.

Перший варіант полягає в безпосередньому пошуку розрахункового значення навантаження за вибіркою, змодельованою згідно з формулою (1), при заданій імовірності його перевищення. Така постановка задачі зводиться до оцінювання ймовірності перевищення розрахункового значення за частотою, обчисленою за результатами моделювання. Виходячи із загального рішення [9], отримано формулу для визначення обсягу вибірки, необхідного для оцінювання ймовірності P з похибкою Δ і довірчою ймовірністю β . З урахуванням даних 12-ти метеостанцій України, проаналізованих і перелічених в таблиці 1, встановлено, що при довірчій імовірності $\beta = 0,9$ і допустимій похибці $\Delta \approx 10\%$ необхідна кількість моделювань за формулою (1) змінюється в межах від $N_M = 38000$ до $N_M = 142000$. Така кількість моделювань є цілком реальною, але можуть виникнути ускладнення при збереженні та сортуванні результуючих вибірок.

Другий варіант полягає у використанні модифікованого методу Монте-Карло, який базується на апроксимації змодельованої вибірки певним теоретичним законом розподілу. Вид закону розподілу результуючої вибірки снігового навантаження встановлений за результатами експериментального статистичного моделювання за спеціальною програмою на алгоритмічній мові QuickBASIC на прикладі згаданих вище 12-ти метеостанцій України. Для кожної з метеостанцій програма реалізує такі операції:

- 1) встановлюється кількість моделювань N_M та інші вихідні дані згідно з викладеними вище результатами попередніх досліджень;
- 2) моделюються значення випадкових аргументів формули (1):
 - величина снігопаду – за експоненціальним розподілом;
 - тривалість снігопаду – за розподілом Вейбулла;
 - інтенсивність танення снігу – за розподілом Вейбулла;
- 3) обчислюється результуюча величина снігового навантаження на покрівлю q за формулою (1);
- 4) значення $q > 0$ запам'ятовується як наступний елемент вибірки снігового навантаження, а при $q < 0$ кількість нульових результатів збільшується на одиницю;
- 5) моделювання за пунктами 2 – 4 повторює задану кількість разів N_M ;
- 6) виконується статистична обробка вибірки з N отриманих ненульових значень снігового навантаження на покрівлю та визначається частота ненульових значень за формулою $F_q = N/N_M$.

Основні результати статистичної обробки вибірок снігового навантаження на покрівлю, отриманих за описаною програмою при кількості моделювань $N_M=1000$, наведено в таблиці 1. Характерною рисою отриманих вибірок є незначна кількість ненульових значень, частоти яких F_q складають від 12 до 30%. Отже, інтенсивність переважної більшості снігопадів не перевищує інтенсивності танення снігу на покрівлі.

Таблиця 1

Характеристики снігового навантаження на покрівлі

Метеостанції	N_C (1/рік)	F_q	M_q (Па)	S_q (Па)	V_q	T (роки)		
						5	20	100
Бориспіль	8,78	0,150	82	86	1,055	155	268	400
Джанкой	3,82	0,206	132	127	0,960	181	364	576
Луганськ	6,88	0,168	91	86	0,960	160	286	432
Маріуполь	5,19	0,175	95	97	1,020	144	275	428
Мостиська	5,60	0,196	95	106	1,115	162	293	446
Нікополь	5,58	0,176	69	74	1,077	110	205	317
Полтава	9,72	0,161	88	92	1,051	181	303	445
Роздільна	3,97	0,303	145	152	1,052	260	461	695
Сарни	6,78	0,157	94	96	1,025	157	287	439
Семенівка	14,25	0,121	67	62	0,928	144	237	345
Умань	8,89	0,245	107	111	1,042	256	404	576
Чортків	8,45	0,221	111	113	1,021	248	402	581

У таблиці 1 указано середньорічні кількості снігопадів N_C , частоти ненульових значень навантаження F_q , середні значення M_q , стандарти S_q і коефіцієнти варіації V_q розподілів ненульових значень снігового навантаження, а на рисунку 1 зображено характерні приклади гістограм розподілу для метеостанцій Джанкой і Полтава. Вид

гістограм та близькі до одиниці значення коефіцієнтів варіації вказують на можливість опису значимих (ненульових) частин вибірок снігового навантаження експоненціальним законом розподілу. Перевірка за критерієм узгодженості Пірсона [10] показала, що для всіх 12-ти метеостанцій експоненціальний розподіл не суперечить дослідним даним на рівнях значимості $\alpha \geq 0,1$.

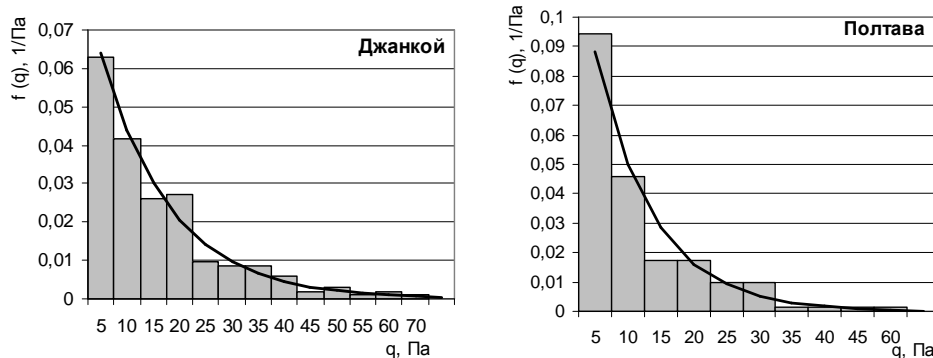


Рисунок 1 – Гістограми розподілу снігового навантаження на покрівлі

Послідовність випадків снігового навантаження на покрівлю, як і розглянута в роботі [5] послідовність снігопадів, утворює імпульсний випадковий процес. Висота імпульсів описується експоненціальним законом розподілу

$$F(q) = 1 - e^{-\lambda q} \quad (2)$$

з параметром $\lambda = 1/M_q$, визначеним через оцінку математичного сподівання ненульових значень навантаження M_q з таблиці 1.

Середньорічна кількість імпульсів навантаження на покрівлю визначається з урахуванням середньорічної кількості снігопадів N_C на вибраній метеостанції та частоти ненульових значень навантаження F_q , отриманої в результаті статистичного моделювання,

$$N_q = N_C F_q \quad (3)$$

До отриманого імпульсного процесу снігового навантаження на покрівлю можна застосувати схему незалежних випробувань [3], [10], згідно з якою розрахункове значення снігового навантаження визначається з рівняння

$$F_q(Q) = 1 - \frac{1}{T N_q} \quad (4)$$

де Q – шукане розрахункове значення снігового навантаження;

T – середній період повторюваності розрахункового значення в роках;

N_q – середньорічна кількість імпульсів навантаження (3).

Підставивши рівняння (2) і (3) до формули (4), отримуємо рівняння, аналітичний розв'язок якого дає шукане розрахункове значення снігового навантаження із заданим середнім періодом повторюваності T ,

$$Q(T) = M_q \ln(T N_C F_q) \quad (5)$$

де M_q – математичне сподівання ненульових значень навантаження;

T – середній період повторюваності розрахункового значення в роках;

N_C – середньорічна кількість снігопадів на даній метеостанції;

F_q – частота ненульових значень навантаження.

Розрахункові значення снігового навантаження, визначені за формулою (5) для періодів повторюваності $T = 5, 20$ і 100 років, наведено в останніх колонках таблиці 1, а на рисунку 2 зображено залежності розрахункових значень від їх періоду повторюваності.

Якісний характер отриманих залежностей аналогічний до повного снігового навантаження, встановленого нормами [2] за результатами досліджень [3], але вони мають істотні кількісні відмінності. При періоді повторюваності $T=50$ років розрахункові

значення снігового навантаження на покрівлі з надлишковими виділеннями тепла змінюються в межах від 260 до 600 Па, тоді як характеристичні значення повного снігового навантаження [2] приймають значення від 800 до 1800 Па, тобто вони є утричі більшими.

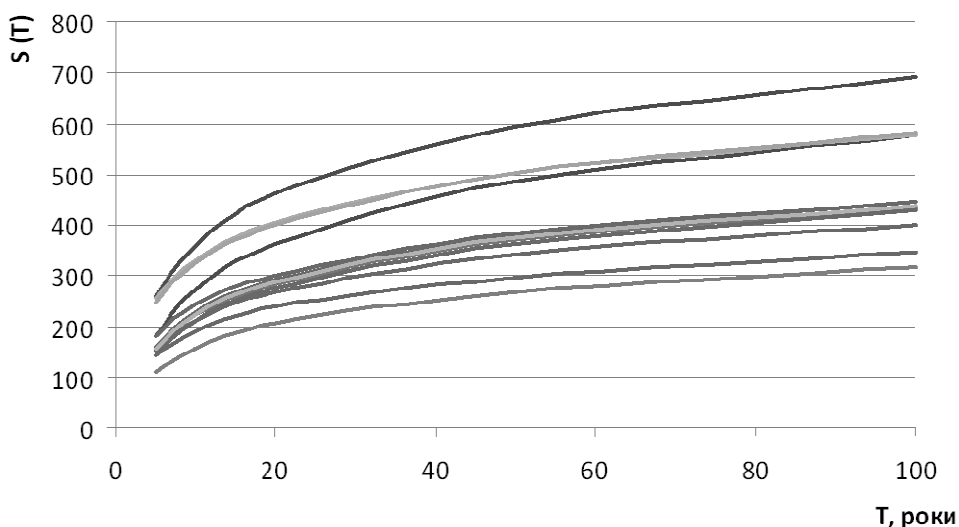


Рисунок 2 – Розрахункові значення снігового навантаження на покрівлі

Звертають на себе увагу також відмінності в характері територіальної мінливості розрахункових значень. Згідно з таблицею 1 та рисунком 2, найбільші розрахункові значення отримано для метеостанції Роздільна, яка розміщена на півдні України і належить до третього району [2] з характеристичним значенням снігового навантаження 1200 Па. Для розміщеної на півночі України метеостанції Семенівка з характеристичним значенням повного снігового навантаження [2] 1800 Па отримано порівняно невелике розрахункове значення $Q(50)=299$ Па. Аналіз вихідних даних і проміжних результатів статистичного моделювання показав, що такі відхилення в характері територіального розподілу снігового навантаження на покрівлі з надлишковими виділеннями тепла обумовлені тим, що на півдні України загальна кількість снігопадів може бути меншою, але вони часто бувають більш значними, ніж у північних районах, для яких характерні часті, але порівняно невеликі снігопади.

Висновки за результатами досліджень:

1. Розроблена методика й програма статистичного моделювання дають змогу визначати розрахункові значення снігового навантаження на покрівлі будівель з надлишковими виділеннями тепла з урахуванням характеристик снігопадів та процесів танення снігу на покрівлях.

2. Істотні відмінності в значеннях і в характері територіального розподілу отриманих розрахункових значень від розрахункових значень повного снігового навантаження обумовлюють необхідність розроблення окремих норм снігового навантаження на холодні покрівлі будівель з надлишковими виділеннями тепла.

Література

1. ДБН В.1.2-14:2009. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. – К.: Мінрегіонбуд, 2009. – 30 с.
2. ДБН В.1.2-2:2006. Система надійності та безпеки в будівництві. Навантаження і впливи. – К.: Мінбуд України, 2006. – 59 с.
3. Пашинський, В.А. Атмосферні навантаження на будівельні конструкції для території України / В.А. Пашинський. – К., 1999. – 185 с.

4. Пичугин, С.Ф. Вероятностные модели снеговой нагрузки / Пичугин С.Ф. // *Технічна метеорологія Карпат: матеріали I Міжнародної науково-технічної конференції ТМК-98*. – Львів: Оксарт, 1998. – С. 79 – 84.
5. Пичугін, С.Ф. Статистичні характеристики послідовностей снігопадів на території України / Пичугін С.Ф., Попович Н.М. // *Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. трудов. Вып. № 65*. – Дн-вск, ГВУЗ «ПГАСА», 2012. – С. 472 – 475.
6. Пашинський, В.А. Експериментальні дослідження процесу формування снігового покриву на тепловіділяючих покрівлях / Пашинський В.А., Попович Н.М. // *Состояние современной строительной науки 2010: сб. науч. трудов* – Полтава, 2010. – С. 195 – 197.
7. Пичугін, С.Ф. Вплив особливо небезпечних снігопадів на формування снігового покриву / Пичугін С.Ф., Попович Н.М. // *Строительство, реконструкция и восстановление зданий городского хозяйства: материалы III Международной научно-технической Интернет-конференции*. – Харьков, 2012. – С. 144 – 146.
8. Соболев, И.М. Численные методы Монте-Карло / Соболев И.М. – М.: Наука, 1973. – 312 с.
9. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей / Вентцель Е.С. – М.: Физматгиз, 1962. – 564 с.
10. Пичугин, С.Ф. Расчет надежности металлических конструкций (полученные результаты и нерешенные вопросы) / С.Ф. Пичугин // *Надежность строительных конструкций. Работа научной школы проф. Пичугина С.Ф.: сборник научных трудов*. – Полтава: ООО «АСМИ», 2010. – С. 16 – 35.

*С.Ф. Пичугин, д.т.н., проф., Н.Н. Попович, ст. преп.
Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка*

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЁТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ СНЕГОВОЙ НАГРУЗКИ НА ХОЛОДНЫЕ ПОКРЫТИЯ

Разработана методика определения расчетных значений снеговой нагрузки на покрытия зданий с избыточными выделениями тепла, которая базируется на вероятностной модели импульсного случайного процесса последовательности снегопадов и учитывает интенсивность таяния снега на покрытии.

Ключевые слова: *снеговая нагрузка, нормирование снеговой нагрузки, прирост снеговой нагрузки.*

*S.F. Pichugin, Dr. Tech. Sc., Prof., N.N. Popovich., senior teacher
Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk*

MEASURING METHODS OF CALCULATED VALUES OF SNOW LOAD ON COLD ROOF

The measuring method of the calculated values of snow load on roofs with excessive heat is developed; this method is on probabilistic models of pulsed random sequence process and it takes into account the intensity of snowfall and melting snow on the roof.

Keywords: *snow load, standardization of snow load, increment of snow load.*

Надійшла до редакції 14.09.2012

© С.Ф. Пичугін, Н.М. Попович