

С.Ф. Пічугін, д.т.н., професор, І.В. Молька, ст. викладач, Ю.В. Дрижирук, к.т.н.
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

ВПЛИВ ТЕПЛОТРАТ ЧЕРЕЗ ДАХИ НА ВЕЛИЧИНУ СНІГОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Розглянуто питання підтавання снігу на покриттях опалюваних будівель. Проаналізовано дані натурних експериментів та теоретичні розрахунки зміни висоти снігового покриву на дахах за рахунок теплових потоків із приміщень.

Ключові слова: сніг, танення, теплопровідність, сніговий покрив, снігове навантаження на ґрунт, снігове навантаження на покриття.

Постановка проблеми. Снігове навантаження є однією з найбільш невизначених величин, що враховуються при розрахунках будівельних конструкцій. Його значення може істотно варіюватися залежно від кліматичних характеристик місцевості, швидкості вітру, геометричних параметрів будівлі, її розташування відносно переважаючого напрямку вітрів. Не менш вагомим фактором є також вплив теплових потоків, що проходять через дахи опалюваних будівель і спричиняють підтавання снігу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Значний внесок у вивчення снігових навантажень було зроблено такими вченими, як А.Я. Дривінг, М.В. Заваріна, Р.І. Кінаш, А.С. Розенберг, В.А. Пашинський, С.Ф. Пічугін, А.В. Перельмутер [1] та інші. Було зібрано й оброблено велику кількість кліматологічного матеріалу, поліпшено територіальне районування України, розвинуто методології нормування снігового навантаження, врахування сумісної дії снігового та інших навантажень, розподілу снігу по поверхні покриття. Танення снігу на легких покриттях опалюваних будівель досліджувалося в роботах В.О. Отставнова [2], В.В. Филипова, А.Т. Копилова, Т.А. Корнілова [3], І.В. Ледовського [4], П.Д. Окулова [5].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Установлено, що на покриттях опалюваних і неопалюваних будівель величина снігового навантаження може відрізнятися в кілька разів. Явищу підтавання приділяється певна увага як у європейських [6], американських [7], так і в українських [8] нормативних документах. Проте питання коректного врахування підтавання снігу за рахунок надходжень тепла через покриття залишається відкритим.

Формулювання цілей статті. Метою даної роботи є оцінювання придатності розробленої програми розрахунку швидкості танення снігу на покриттях для статистичного моделювання снігових навантажень на основі порівняльного аналізу результатів розрахунку з даними натурних спостережень за сніговим покривом на дахах.

Виклад основного матеріалу. Програма натурного експерименту включала в себе снігомірні зйомки на покрівлях будівель протягом зимових періодів 2007 – 2008 рр., 2008 – 2009 рр. та 2009 – 2010 рр. [9]. Спостереження виконувалися на плоских з одним перепадом висот дахах навчальних корпусів Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка (ПолтНТУ) та на прилеглих до них територіях, захищених від дії вітру. Паралельно здійснювалася снігозйомка на поверхні землі в захищеному від вітру місці, вільному від трав'яного покриву. Висота снігового покриву вимірювалася за допомогою металевої рейки висотою 1 м зі шкалою поділок 1,0 см, густина снігу – похідним ваговим снігоміром ВС-43 з точністю до 0,1 г/см³. Дослідження проводились у безвітряні дні після снігопадів. Добуток висоти й густини снігу на даху давав фактичне снігове навантаження. Густина снігу приймалася середньою на день проведення зйомок.

Дахи навчальних корпусів ПолтНТУ належать до плоского типу (ухил до 20°), мають один перепад висот від 0,5 до 5,1 м та парапети. Висота покриття від поверхні землі коливається в межах 8 – 15 м. Відносно переважаючого напрямку вітру всі корпуси мають однакове положення. У зв'язку з відсутністю більш високих будівель, ніж обстежувані, вплив аеродинамічної тіні виключався. Усі покриття – рулонні, утеплені по залізобетонних панелях.

За три роки проведено більше 200 замірів різних параметрів. Отримано фактичні значення снігового навантаження на поверхні землі й на покриттях будівель, а також відповідну густину снігового покриву.

Густина снігу на дахах у всіх випадках була більшою, ніж на поверхні землі. Це можна пояснити режимом експлуатації. Установлено, що на обстежених покрівлях через неефективний утеплювач (в основному – шлак чи перепалений керамзитовий гравій) і внаслідок виведення на дах вентиляційних шахт тепловтрати через покрівлю є досить значними, а це неминуче призводить до підтавання снігу та збільшення його густини (ущільнення). При цьому найбільші тепловтрати були через покриття корпусу «Л», про що свідчать прошарок криги та велика кількість бурульок (рис. 1). Зниження снігового навантаження на покрівлю в окремих випадках доходило до 30 %.



Рисунок 1 – Результат підтавання снігу на покритті

Основною відмінністю решти дахів від даху корпусу «Л» є краща теплоізоляція, завдяки якій спостерігалися менші тепловтрати, зменшення підтавання снігу і збільшення загального рівня снігового навантаження.

Танення снігу за рахунок тепловтрат відбувається при температурі на межі покрівлі зі снігом 0°C або вище. Мінімальна (критична) висота снігового покриву, яка відповідає цій умові, визначається згідно з роботою [3] як

$$h_{CH(K)} \geq \lambda_{CH} \left[-\frac{t_3}{t_B} (R_{II} + R_B) - R_3 \right], \quad (1)$$

де t_B – температура всередині приміщення, $^{\circ}\text{C}$; t_3 – температура зовнішнього повітря, $^{\circ}\text{C}$; R_B – опір теплосприйняттю від внутрішнього повітря, $(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})/\text{Вт}$; R_{II} – термічний опір покриття, $(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})/\text{Вт}$; R_3 – опір тепловіддачі зовнішньому повітрю, $(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})/\text{Вт}$; λ_{CH} – коефіцієнт теплопровідності снігу, для ущільненого снігу згідно з роботою [3] $\lambda_{CH} = 0,18 \text{ ккал}/\text{м} \cdot \text{год} \cdot ^{\circ}\text{C} = 0,21 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C})$.

За даними проектної документації, покрівля лабораторії корпусу «Л» складається з ребристої залізобетонної плити, керамзитового утеплювача та 3-х шарів руберойдного килима (рис. 2).

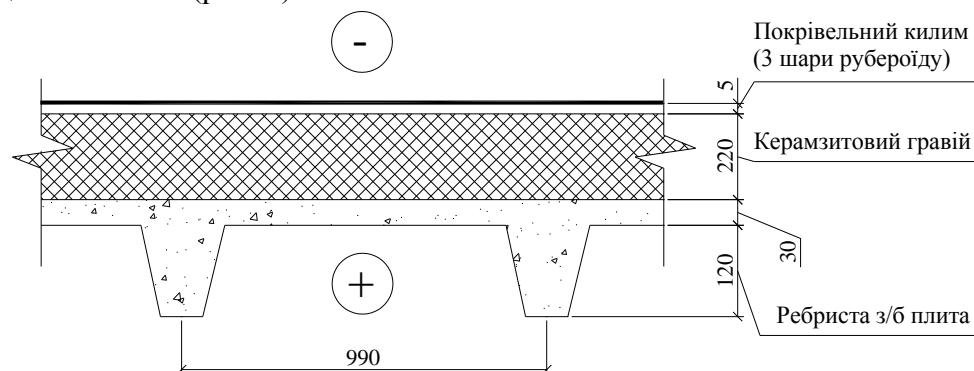


Рисунок 2 – Розрахункова схема покриття

Термічний опір конструкції покриття визначається за формулою

$$R_{II} = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}, \quad (2)$$

де $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ – товщини відповідних шарів конструкції покриття;

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ – коефіцієнти теплопровідності відповідних шарів, визначені згідно з нормами [10, дод. Л].

Таким чином, для покриття корпусу «Л»

$$R_{II} = \frac{0,03}{2,04} + \frac{0,22}{0,215} + \frac{0,005}{0,17} = 1,07 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт.}$$

У свою чергу опори теплосприйняттю та тепловіддачі визначаються як

$R_B = \frac{1}{\alpha_B}$ та $R_3 = \frac{1}{\alpha_3}$ відповідно, де α_B – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальних конструкцій, $\alpha_B = 8,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$ за нормами [10, дод. Е] для співвідношення висоти ребра панелі до відстані між ребрами $\frac{h}{a} = \frac{120}{990} = 0,12 < 0,3$; α_3 – коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції, $\alpha_3 = 23 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$ за нормами [10, дод. Е].

$$\text{Отже, } R_B = \frac{1}{8,7} = 0,11 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт, } R_3 = \frac{1}{23} = 0,04 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт.}$$

Шляхом безпосередніх вимірювань встановлено, що у період спостережень середня температура повітря в приміщенні лабораторії корпусу «Л» становила $+15 \text{ °C}$, а зовні -8 °C .

У такому випадку відповідна критична висота снігового покриву

$$h_{CH(K)} \geq 0,21 \left[-\frac{-8}{15} (1,1 + 0,11) - 0,04 \right] = 0,13 \text{ м.}$$

Визначимо залишкову висоту снігу для одного з експериментальних випадків за спеціальною програмою для розрахунку швидкості танення снігу на покриттях, теоретичне обґрунтування та принцип дії якої подано в роботах [11, 12].

Найбільш показовими є результати січня – лютого 2010 року, коли була зафіксована максимальна за останні 25 років товщина снігового покриву (на захищеній від дії вітру ділянці) – до 40 см, що відповідала навантаженню 720 Па. Густина снігу при цьому становила $0,18 \text{ г/см}^3$.

Таким чином, маємо $h_C = 0,4 \text{ м}$, $\rho_C = 180 \text{ кг/м}^3$. Решту вхідних даних візьмемо з попереднього розрахунку: $R_{II} = 1,33 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$, $t_3 = -8 \text{ °C}$, $t_B = 15 \text{ °C}$, $\alpha_3 = 23 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$, $\alpha_B = 8,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$.

У результаті розрахунку отримаємо залишкову товщину снігу $0,14 \text{ м}$, при досягненні якої процес танення припиняється, що збігається з результатом, одержаним вище.

За результатами снігомірних спостережень на покрівлі корпусу «Л» максимальна висота снігу в лютому 2010 р. коливалася від 11 до 15 см, тоді як на покрівлях інших корпусів значення висоти змінювалося від 18 до 25 см. Отже, результати розрахунків збігаються з експериментальними. Місцями натурна висота була меншою внаслідок здування снігу.

Особливістю розрахунку за програмою є врахування зміни густини та теплопровідності снігу із часом шляхом уведення додаткового шару мокрого снігу, який поступово зростає за рахунок талої води. Прийнято припущення, що вся волога вбирається снігом, а водовіддача починається при насиченні його водою на 30 %. При цьому густина мокрого снігу задається $\rho_{MC} = 800 \text{ кг/м}^3$. Коефіцієнт теплопровідності снігу визначається за формулою, запропонованою в роботі [13],

$$\lambda = 2,4 \cdot 10^{-6} \cdot \rho^{2,033}. \quad (3)$$

Розрахунок за формулою (3) дає значення $\lambda_C = 0,09$ Вт/(м·°С) і $\lambda_{MC} = 1,92$ Вт/(м·°С), які залишаються сталими під час розрахунку. Середнє ж значення теплопровідності зростає за рахунок збільшення висоти мокрого снігу. У розглянутому прикладі танення припинилося при висоті мокрого снігу 0,07 м і загальній висоті 0,14 м. Тоді середнє значення коефіцієнта теплопровідності може бути визначене як

$$\lambda_{CEP} = \frac{\lambda_C \cdot h_C + \lambda_{MC} \cdot h_{MC}}{h_C + h_{MC}} = \frac{0,09 \cdot 0,07 + 1,92 \cdot 0,07}{0,07 + 0,07} = 0,94 \text{ Вт/(м·°С)}.$$

Обчислимо відповідне значення середньої густини із формули (3):

$$\rho_{CEP} = \left(\frac{\lambda_{CEP} \cdot 10^{-6}}{2,4} \right)^{1/2,033} = \left(\frac{0,94 \cdot 10^{-6}}{2,4} \right)^{1/2,033} = 560 \text{ кг/м}^3.$$

Отримане значення цілком узгоджується із відомими характеристиками мокрого снігу, описаними в [13].

Для порівняння визначимо густину снігу, яка відповідає прийнятому при розрахунку за формулою (1) значенню $\lambda_{CH} = 0,21$ Вт/(м·°С):

$$\rho_{CH} = \left(\frac{\lambda_{CH} \cdot 10^{-6}}{2,4} \right)^{1/2,033} = \left(\frac{0,21 \cdot 10^{-6}}{2,4} \right)^{1/2,033} = 270 \text{ кг/м}^3.$$

Це значення є характерним для ущільненого снігу [13].

Незважаючи на однакове значення висоти снігу, одержане в результаті обох розрахунків, матимемо різні навантаження на покриття:

$$S_{CH} = h_{CH} \cdot \rho_{CH} = 0,15 \cdot 270 = 40,5 \text{ кг/м}^2 = 405 \text{ Па};$$

$$S = h \cdot \rho_{CEP} = 0,15 \cdot 560 = 84 \text{ кг/м}^2 = 840 \text{ Па}.$$

Таким чином, при розрахунку за програмою отримуємо приблизно вдвічі більше навантаження. Це дає можливість урахувати при нормуванні навантажень найгірший випадок, коли відведення води з покрівлі утруднене або танення відбувається в умовах різкої зміни температур зовнішнього повітря, коли талий сніг замерзає з утворенням льодового прошарку. Так під час експериментальних досліджень був зафіксований випадок, коли під шаром снігу знаходилася 10-сантиметрова товща криги, густина якої, як відомо, становить 917 кг/м³.

Варто зазначити, що за програмою розраховується також час танення. У розглянутому випадку він становитиме близько місяця. Причиною такої затримки є прийняте в програмі спрощення, за яким розглядався найгірший випадок – безухильний дах. Математична модель передбачала вбирання талої води снігом до повного насичення з відповідним збільшенням густини. За наявності ухилу та належного відведення талої води процес відбуватиметься швидше. Крім того, у моделі не передбачено наявності додаткових надходжень тепла через вентиляційні шахти. Викликає сумніви також відповідність реального опору теплопередачі покриття проектному, який було взято в розрахунках. З огляду на підвищену швидкість танення в реальних умовах можна припустити, що дійсне значення R є меншим від вказаного. Оскільки прийнятий у моделі підхід у будь-якому випадку призводить до додаткового запасу надійності, то можна вважати доцільним його використання для нормування снігових навантажень.

Висновки. Проведені дослідження підтвердили значний вплив тепловтрат через дахи на величину снігового навантаження. Результати зіставлення розрахункових та експериментальних даних свідчать про придатність розробленої програми для статистичного моделювання снігового навантаження й нормування коефіцієнта підтавання.

Література

1. *Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / В.Н. Гордеев, А.И. Лантух-Лященко, М.А. Микитаренко, В.А. Пашицкий, А.В. Перельмутер, С.Ф. Пичугин; под общей редакцией А.В. Перельмутера. – К.: Издательство «Сталь», 2005. – 500 с.*
2. *Отставнов, В.А. Прогнозируемые снеговые нагрузки на покрытиях отапливаемых зданий с учетом таяния на них снега / В.А. Отставнов // Вопросы надежности и совершенствования строительных конструкций. – Якутск: ЯГУ, 1996. – С. 23 – 30.*

3. Снеговые нагрузки на покрытия зданий в условиях Севера (на примере Якутии) / [В.В. Филиппов, А.Т. Копылов, Т.А. Корнилов и др.]. – М.: Наука, 2000. – 246 с.
4. Ледовской, И.В. Проблемы теории снеговых нагрузок на сооружения: автореферат дис. ... на соискание науч. степени д-ра техн. наук: специальность 05.23.17 «Строительная механика» / И.В. Ледовской; ГОУ ВПО «СПбГАСУ». – СПб.: СПГАСУ, 2009. – 34 с.
5. Окулов, П.Д. Анализ совместного воздействия нагрузок от подвесных кранов и снега на металлические конструкции покрытия промышленных зданий: автореф. дис. ... канд. техн. наук / П.Д. Окулов. – М.: МИСИ, 1984. – 17 с.
6. EN 1991-1-3. Eurocode 1. Actions on Structures. – Part 1-3: General Actions. Snow Loads. – Brussels: CEN, 2003. – 56 p.
7. ASCE/SEI 7-10. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. – American Society of Civil Engineers, 2010. – 658 p.
8. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи: чинний з 2007-01-01. – К.: Мінбуд України, 2006. – 59 с.
9. Пічугін, С.Ф. Натурні дослідження снігового навантаження на покрівлях з перепадами висот / С.Ф. Пічугін, Ю.В. Дрижирук // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: збірник наукових праць. – Рівне: НУВГП, 2009. – Вип. 19. – С. 290 – 297.
10. ДБН В.2.6-31:2006. Теплова ізоляція будівель. – К.: Мінбуд України, 2006. – 40 с.
11. Молька, І.В. Визначення швидкості танення снігу на покрівлі / І.В. Молька, Б.А. Кутний // Сучасне промислове та цивільне будівництво. – Макіївка: ДонНАБА, 2009. – Т. 5, №4. – С. 173 – 178.
12. Кутний, Б.А., Математична модель танення снігу на покрівлі / Б.А. Кутний, І.В. Молька // Комунальне господарство міст: наук.-техн. зб. – Вип. 92, X.: ХНАМГ, 2011. – С. 50 – 55.
13. Молька, І.В. Особливості формування та фізичні характеристики снігового покриву / І.В. Молька // Зб. наук. пр. (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2009. – Вип. 1 (23). – С. 150 – 158.

Надійшла до редакції 01.11. 2011

© С.Ф. Пічугін, І.В. Молька, Ю.В. Дрижирук

**С.Ф. Пічугін, д.т.н., проф., І.В. Молька, ст. преподаватель,
Ю.В. Дрижирук, к.т.н.**

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОПOTЕРЬ ЧЕРЕЗ КРЫШИ НА ВЕЛИЧИНУ СНЕГОВОЙ НАГРУЗКИ

Рассмотрен вопрос подтаивания снега на покрытиях отапливаемых зданий. Проанализированы данные натурных экспериментов и теоретические расчеты изменения высоты снегового покрова на крышах за счет тепловых потоков из помещений.

Ключевые слова: снег, таяние, теплопроводность, снежный покров, снеговая нагрузка на грунт, снеговая нагрузка на покрытие.

S.F. Pichugin, D.Sc., prof., I.V. Molka, senior teacher, Y.V. Dryzhyruk, Ph.D.

Poltava National Technical University named after of Yuri Kondratyuk

EFFECT OF HEAT LOSS THROUGH THE ROOFS ON THE VALUE OF SNOW LOAD

The question of snow thawing on the roofs of heating buildings is considered. The data of nature experiences and theoretical calculations of the snow cover height changes on the roofs at the expense of heat flows from the premises are analyzed.

Keywords: snow, thawing, heat conductivity, snow cover, snow load on the ground, snow load on the roof.