

УДК 624.042.42

*С.Ф. Пічугін, д.т.н., проф.
Ю.В. Дрижирук, к.т.н., ст. викл.
І.В. Молька, ст. викл.
Н.М Попович, ст. викл.*

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ІМОВІРНІСНІ ПІДХОДИ ДО ВРАХУВАННЯ СНІГОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ НАДЛЕГКИХ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

Подано пропозиції щодо шляхів застосування результатів комплексних імовірнісних досліджень снігового навантаження при проектуванні надлегких кроквяних сталезалізобетонних конструкцій.

Ключові слова: снігове навантаження, імовірнісна модель, «сніговий мішок», сталезалізобетонна конструкція.

Вступ. У наш час широкого застосування набувають надлегкі сталезалізобетонні конструкції (СЗБК), що вирізняються високою міцністю на незначною власною вагою. Однак як і всі легкі конструкції, СЗБК потребують більш точного збору навантаження при їх проектуванні, особливо атмосферних навантажень. Так, при використанні цих конструкцій як кроквяних ригелів промислових та цивільних будівель і теплиць найбільш небезпечним для них є надмірне снігове навантаження.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. Надлегкі СЗБК та підходи до їх проектування широко досліджуються й упроваджуються в практику будівництва науковою школою д.т.н., професора О.В. Семка [1]. Снігове навантаження як одне з найважливіших атмосферних навантажень досить широко вивчається фахівцями будівельної галузі. Значну роботу з натурального дослідження накопичень снігу в місцях перепадів висот будівель виконали такі російські вчені, як В.А. Отставнов [4], В.В. Філіппов [14], І.В. Лебедева та інші. Серед українських учених вагомий внесок у розвиток імовірнісних підходів до нормування снігового навантаження зробили С.Ф. Пічугін [7, 8], В.А. Пашинський [6] і Р.І. Кінаш.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Аналіз результатів проведених на сьогодні досліджень показав, що дослідження впливу надмірного снігового навантаження на зміну зусиль в елементах надлегких СЗБК не проводилися. Тому ця проблема є актуальною та потребує детального підходу до її розв'язання.

Постановка завдання. Основними завданнями статті є висвітлення трьох підходів до більш точного врахування снігового навантаження при проектуванні надлегких СЗБК: оптимізація параметрів «снігових мішків» у місцях перепадів висот будівель, урахування підтавання снігу на покрівлях з підвищеними тепловиділеннями та на покрівлях теплиць.

Основний матеріал і результати. Досить перспективним є застосування легких СЗБК як кроквяних конструкцій при будівництві не тільки промислових і цивільних будівель, а й теплиць та парників. У всіх цих випадках основним атмосферним навантаженням для цих конструкцій буде навантаження від снігу – рівномірно розподілене або надмірне за наявності перепадів висот. У рамках комплексного підходу до вивчення цього навантаження проаналізовано фізичні властивості кристалів снігу, простежено еволюцію вітчизняних норм проектування зі снігового навантаження, розглянуто нормування снігового навантаження за кордоном та методи його досліджень, визначено фактори, що впливають на підвищені снігонакопичення в місцях перепадів висот будівель [9, 12].

Аналіз результатів проведених досліджень показав, що значний вплив на формування надлишкових сніговідкладень у місцях перепадів висот будівель мають такі змінні фактори: фізичні властивості кристалів снігу, кількість твердих опадів, вітровий режим місцевості, підтавання та зсипання снігового покриву. Однак це не знайшло відображення у вітчизняних і закордонних нормах проектування.

Наступним етапом у вивченні снігового навантаження були експериментальні (снігомірні) дослідження снігового покриву з паралельним збором інформації стосовно фізичних і метеорологічних факторів (швидкість та напрям вітру, температура зовнішнього повітря), що впливають на формування «снігових мішків» у місцях перепадів висот будівель [11]. Виконано також статистичну обробку отриманих результатів. Установлено, що вітер відіграє ключову роль у формуванні надлишкового снігового навантаження в місцях перепадів висот будівель. Це підтверджує порівняння таких вимірювань на поверхні ґрунту і на покрівлях будівель. Доведено, що в зону «снігового мішка» зноситься від 20 до 50% снігу з нижнього та верхнього покрив. Фактичні геометричні параметри «снігових мішків» практично повністю відповідають рекомендованим нормами ДБН. Основна ж відмінність полягає в тому, що діючі норми завищують розміри надмірних снігонакопичень біля перепадів висот і в той же час явно занижують (на 10–40%) снігове навантаження в зоні поза «сніговим мішком».

Окрему увагу також було приділено порівняльному аналізу вітчизняних норм [3] із радянськими нормами [14] та закордонними відповідниками – американськими нормами ASCE 7-10, європейськими Eurocode-1 і російськими СНиП 2.01.07-85*. Установлено, що не існує чіткої залежності між навантаженням від «снігових мішків», розрахованим за СНиП та ДБН для одних і тих же покрівель. При збільшенні снігового навантаження на поверхні ґрунту на 48% вага «снігового мішка» може як збільшуватися на 27–81%, так і зменшуватися до 19% у випадку заповнення всього перепаду висоти снігом. Виявлено, що вага «снігових мішків», обчислена за стандартами ДБН та Eurocode-1, різниться на 15–30% як у менший, так і в більший бік, а власне європейські норми вирізняються спрощеністю та занадто узагальненим підходом, малою кількістю розрахункових схем. Порівняно з вітчизняними нормами норми США ASCE 7-10 можуть значно завищувати (до 55%) вагу надлишкових снігонакопичень для перепадів висот до 3 м та занижувати (до 58%) її для перепадів від 3 до 8 м. Завершальним етапом досліджень стало створення ймовірнісної моделі накопичення снігу в місцях перепадів висот будівель. При її побудові було розглянуто та оцінено такі важливі фактори формування «снігових мішків», як снігове навантаження на поверхні ґрунту, швидкість і напрям вітру, температура зовнішнього повітря та підтавання снігу внаслідок тепловтрат через покрівлю. У результаті ретельного аналізу впливу перелічених факторів у явному ймовірнісному вигляді було враховано найбільш суттєві з них – снігове навантаження на поверхні ґрунту та швидкість вітру. Крім того, повторюваність вітрів зі швидкістю, більшою ніж 4 м/с, враховано як детерміновану величину. Решту чинників не враховано, оскільки вони могли б призвести до значного ускладнення моделі, сприяючи при цьому лише зменшенню кількості снігу в місці перепаду висот.

Отримана ймовірнісна модель накопичення снігу в місцях перепадів висот будівель дозволила оцінити значення ваги «снігових мішків», визначених за нормами ДБН. На основі розробленої методики було визначено коефіцієнти сполучення снігового навантаження для ряду покрівель з терміном експлуатації 50 та 100 років [4]. Ці коефіцієнти дозволяють оптимізувати вагу снігових відкладів у місцях перепадів висот будівель. З метою їх використання в інженерній практиці запропоновано підхід до корегування розрахункових параметрів «снігових мішків», що базується на результатах натурних спостережень. Його суть полягає у перерозподілі частини снігу із зони «снігового мішка» у позамішкову зону.

Таким чином, імовірна модель «снігових мішків» дала змогу отримати обґрунтовані коефіцієнти сполучення снігового навантаження в місцях перепадів висот, значення яких для території України можна у першому наближенні приймати 0,8. Це дозволяє знизити зусилля в елементах кроквяних ферм на 6–16% та зменшити розрахункове навантаження на конструкції, що досить важливо й актуально для надлегких СЗБК [10].

Поряд із характером розподілення снігу, його здуванням та переміщенням по поверхнях покрівель різних форм на величину снігового навантаження впливає також підтавання снігу на покриттях. При цьому залежно від їх термічного опору до поверхні снігу може надходити різна кількість тепла, спричиняючи його танення з різною інтенсивністю. Цей процес досліджувався мало, діючі норми навантажень ураховують його шляхом застосування знижувального коефіцієнта $C_e = 0,8$ для величини снігового навантаження на неутеплених покриттях цехів з підвищеною тепловіддачею при ухилах покрівлі понад 3% і забезпеченні належного відведення талої води. Він є досить орієнтовним, що призводить до перевитрат матеріалів для одних конструкцій та до недостатньої надійності інших. Залишається незрозумілим, які саме покриття слід вважати неутепленими. Крім того, з огляду на різноманіття будівельних матеріалів, що застосовуються, й широкі межі можливих термічних опорів конструкцій було б доцільно ввести диференційований коефіцієнт залежно від термічного опору покриття та кліматичних характеристик місцевості. Усе це обумовлює необхідність дослідження процесу танення снігу на дахах, вивчення впливу теплотехнічних характеристик покриття на величину снігового навантаження й уточнення значення коефіцієнта режиму експлуатації покрівлі.

Ряд натурних спостережень показав, що одні покриття мають достатні теплоізоляційні властивості й практично не допускають тепловтрат, а інші пропускають значні теплові потоки, що може призводити не тільки до зменшення снігового навантаження, а й до повного розтавання снігу. Зафіксовано зниження снігового навантаження на покрівлю до 30% [15].

На основі інформації про особливості формування й фізичні властивості снігового покриву, отриманої в результаті натурних спостережень та аналізу літературних джерел, а також з урахуванням основних законів передачі тепла, було розроблено математичну модель і програму розрахунку танення снігу на покрівлі за рахунок надходжень тепла з приміщення [16, 17]. Це дало можливість прогнозувати висоту та масу снігу на покритті в будь-який момент від початку танення. Порівняння результатів розрахунку з даними експериментів, що проводилися в ПолтНТУ на реальних і змодельованих будівлях, показало добрий збіг загального часу танення, що свідчить про достовірність запропонованої моделі.

На основі розробленої методики розрахунку швидкості танення снігу на покриттях було складено програму статистичного моделювання снігового навантаження. Для проведення досліджень були зібрані дані снігомірних зйомок за 1980 – 2000 рр. для 16-ти метеостанцій із різних областей України й змодельовані процеси снігових навантажень на ґрунт та покриття з різними термічними опорами [18].

Коефіцієнти режиму експлуатації покрівель, отримані для неутеплених покриттів з низьким термічним опором, виявилися набагато меншими за встановлене в діючих нормах значення 0,8. При зростанні термічного опору покриття зростає значення коефіцієнта підтавання. При цьому період повторюваності розрахункових значень снігового навантаження практично не впливає на результат, тобто можна в усіх випадках орієнтуватися на $T = 100$ років, приймаючи коефіцієнт C_e в діапазоні 0,6 – 1,0 залежно від термічного опору покриття.

Мережа вибраних метеостанцій дозволила охопити всі характерні регіони України. Аналіз територіальної мінливості одержаних коефіцієнтів разом з їх залежністю від

термічного опору покриття $R_{\text{л}}$ дозволив отримати аналітичний вираз для обчислення коефіцієнта режиму експлуатації: Ця залежність може бути рекомендована для введення в Державні будівельні норми України з навантажень і впливів.

Оскільки коефіцієнт режиму експлуатації покрівлі зменшується зі зростанням характеристичного значення снігового навантаження, то він дозволяє істотно знизити снігові навантаження в районах із значними сніговідкладеннями, що мають властивість накопичуватися протягом зими. Для місцевостей, де накопичення снігу практично не спостерігається, а його випадання часто супроводжується поперемінними відлигами, ефект підтавання снігу за рахунок тепловтрат приміщень є мінімальним.

Для того щоб оцінити економічний ефект застосування коефіцієнта C_e , було виконано розрахунок конструкцій реальних покриттів з урахуванням висунутих пропозицій та за діючим ДБН. Найбільший ефект від застосування уточненого коефіцієнта експлуатації був отриманий в умовах VI снігового району з найбільшим характеристичним значенням снігового навантаження. Для покриттів із великою власною вагою снігове навантаження не відіграє істотної ролі, відповідно й ефект від його зниження був незначним. При розрахунку легких покриттів (аналогічних до надлегких СЗБК) вплив коефіцієнта режиму експлуатації покриття є найбільшим, а застосування уточненого значення C_e дає економію витрат сталі від 5 до 30%.

Отже, запропонований підхід дозволяє диференціювати значення коефіцієнта C_e залежно від термічного опору покриття, а в ряді випадків – істотно зменшити розрахункові значення снігових навантажень і дати суттєву економію сталі. Отримані результати можуть використовуватися при проектуванні будівель із надлишковими виділеннями тепла, а також при оцінюванні несучої здатності та можливості подальшої експлуатації раніше споруджених покриттів опалюваних будівель, які мають низькі теплотехнічні характеристики.

Особливу увагу приділено також дослідженню процесів формування снігового навантаження на неутеплені покрівлі виробничих будівель з надлишковими виділеннями тепла й розроблення науково обґрунтованих пропозицій щодо нормування снігового навантаження на покрівлі цехів металургійного виробництва та сільськогосподарських виробничих будівель: теплиць, оранжерей тощо. Так, експериментальні дослідження процесу формування снігового покриву на тепловидільних покрівлях проведені на моделі, яка забезпечувала стабільну температуру внутрішнього повітря під скляною покрівлею та можливість періодичного визначення висоти й середньої густини снігу на покрівлі за аналогією до методики проведення снігомірних зйомок. Спостереження за сніговим покривом на покрівлі здійснювалися у процесі снігопадів, а також шляхом штучного створення снігового покриву з метою визначення закономірностей його танення. Результати спостережень протягом двох зим дозволили виявити статистичні характеристики випадкової величини швидкості танення снігу на тепловидільній покрівлі, а також її залежності від ряду впливаючих факторів. Розроблена теоретична модель, яка з урахуванням теплотехнічних характеристики снігу, передачі тепла з приміщення до снігового покриву на покрівлі та його витрат на нагрівання й танення снігу дозволяє визначити швидкість танення снігового покриву на тепловидільній покрівлі. Порівняння розрахункових даних з експериментальними показало задовільну збіжність результатів. Це дозволяє використовувати розроблену теоретичну модель при визначенні снігового навантаження з урахуванням танення снігу на неутеплених покрівлях приміщень з надлишковими виділеннями тепла.

Розрахункові значення снігового навантаження на неутеплені покрівлі будівель з надлишковими виділеннями тепла визначено на основі розробленої ймовірнісної моделі послідовності снігопадів за результатами снігомірних зйомок, що протягом 20-ти років виконувалися на 183-х метеостанціях України. Досить густа мережа метеостанцій дозволила отримати репрезентативні статистичні характеристики послідовностей

снігопадів: середньорічної кількості снігопадів та математичного сподівання величини одного снігопаду. Розроблено карти територіального районування України, що відображають закономірності територіальної мінливості цих характеристик. З урахуванням впливу на величину снігового навантаження на покрівлю випадкових параметрів послідовностей снігопадів, тривалості снігопаду та швидкості танення снігу для обчислення розрахункових значень використана процедура статистичного моделювання за спеціально розробленою програмою. Установлено, що величину снігового навантаження на покрівлю можна описати дискретно-неперервним експоненціальним розподілом, який урахує як величину снігового навантаження, так і можливість його повної відсутності. Розрахункові значення снігового навантаження обчислені для періодів повторюваності від 1-го до 100 років. Відсутність достатньо тісного зв'язку з характеристичними значеннями повного снігового навантаження на звичайні покрівлі, наведеними в нормах [3], обумовила необхідність окремого нормування снігового навантаження на тепловидільні покрівлі. Шляхом узагальнення даних 132-х рівнинних метеостанцій встановлено усереднену залежність коефіцієнта надійності за сніговим навантаженням від періоду повторюваності та розроблено карту територіального районування України за характеристичними значеннями снігового навантаження на тепловидільні покрівлі. На карті виділено 3 територіальних райони з районними значеннями, рівними 250, 300 і 350 Па. Характер територіальної мінливості снігового навантаження на тепловидільні покрівлі істотно відрізняється від повного снігового навантаження, встановленого нормами [3].

Порівняння розрахункових значень, отриманих за розробленими рекомендаціями, з відповідними даними норм [19] показало збільшення розрахункових значень для всієї території України. Це приведе до зростання матеріаломісткості несучих конструкцій, але забезпечить соціальний ефект за рахунок підвищення рівня їх надійності.

Висновки. Таким чином, отриманні на основі комплексних досліджень інженерні методики після проведення більш ґрунтовного аналізу доцільно рекомендувати до застосування при проектуванні надлегких кроквяних СЗБК будівель з перепадами висот, будівель з тепловидільними покрівлями та теплиць і парників. Це сприятиме економії матеріалів та збереженню незмінно високого рівня надійності конструкцій.

Література

1. Семко, О.В. Легкий бетон для заповнення порожнин сталевих тонкостінних конструкцій / О.В. Семко, Д.М. Лазарєв, Ю.О. Авраменко // Збірник наукових праць ДП НДІБК. – Вип. 74. – К., 2011. – С. 659 – 666.
2. Аналіз навантажень на легке покриття при наявності перепадів висот покрівель виробничих цехів / С.Ф. Пичугін, О.В. Семко, А.В. Гасенко, Ю.В. Дрижирук // Сб. науч. трудов «Строительство, материаловедение, машиностроение». – Д.: ПГАСА, 2011. – Вип. 61.– С. 320 – 325.
3. ДБН В.1.2.-2-2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. – К., 2006. – 60 с.
4. Дрижирук, Ю.В. Імовірнісний опис снігового навантаження на покрівлі будівель із перепадами висот: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» / Ю.В. Дрижирук; ПолтНТУ.– Полтава, 2011. – 23 с.
5. Отставнов, В.А. Возможности снижения снеговых нагрузок на плоские покрытия / В.А.Отставнов, Л.С. Розенберг // Промышленное строительство. – 1966. – № 12. – С. 28 – 32.
6. Пащинський, В.А. Атмосферні навантаження на будівельні конструкції для території України / В.А. Пащинський. – К., 1999. – 185 с.
7. Пичугин, С.Ф. Надежность стальных конструкций производственных зданий / С.Ф. Пичугин. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2011. – 455 с.

8. Пичугин, С.Ф. Снеговые и гололедные нагрузки на строительные конструкции / С.Ф. Пичугин, А.В. Махинько. – Полтава: ООО «Асми», 2012. – 460 с.
9. Пичугін, С.Ф. Аналіз розвитку норм проектування по сніговому навантаженню / С.Ф. Пичугін, Ю.В. Дрижирук // Збірник наукових праць Українського науково-дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського. – К.: Сталь, 2008. – Вип.1. – С. 5 – 15.
10. Пичугін, С.Ф. Ефективність оптимізації параметрів відкладень снігу в місцях перепадів висот будівель / С.Ф. Пичугін, Ю.В. Дрижирук // Зб наук. праць ПолтНТУ. Серія Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава: ПолтНТУ, 2011. – Вип. 2. – С. 106 – 112.
11. Пичугін, С.Ф. Натурні дослідження снігового навантаження на покрівлях з перепадами висот / С.Ф. Пичугін, Ю.В. Дрижирук // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. пр. – Рівне: НУВГП, 2009. – Вип. 19. – С. 290 – 297.
12. Пичугін, С.Ф. Порівняльний аналіз розрахункових схем снігового навантаження біля перепадів висот будівель за нормами різних країн / С.Ф. Пичугін, Ю.В. Дрижирук // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. пр. – Рівне: НУВГП, 2009. – Вип. 18. – С. 406 – 413.
13. 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.
14. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 36 с.
15. Молька, І.В. Методика експериментальних досліджень інтенсивності танення снігу на покриттях різних типів / І. В. Молька // Зб. наук. пр. ПолтНТУ. Серія Галузеве машинобудування, будівництво. – Вип. 20. – Полтава: ПолтНТУ, 2007. – С. 101 – 106.
16. 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.
17. Кутний, Б.А. Математична модель танення снігу на покрівлі / Б.А. Кутний, І.В. Молька // Комунальне господарство міст. – Вип. 92, Харків: ХНАМГ, 2011. – С. 50 – 55.
18. Пашинський, В.А. Статистичне моделювання снігового навантаження на покриття опалюваних будівель / В.А. Пашинський, І.В. Молька, Б.А. Кутний // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. пр. – Рівне: НУВГП, 2011. – С. 686 – 691.
19. ДБН В.2.2-2-95. Будинки та споруди. Теплиці та парники. – К., 1995. – 47 с.

*С.Ф. Пичугин, д.т.н., проф., Ю.В. Дрижирук, к.т.н., ст.преп.,
И.В. Молька, ст.преп., Н.Н. Попович, ст.преп
Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка*

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ПОДХОДЫ К УЧЕТУ СНЕГОВОЙ НАГРУЗКИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СВЕРХЛЕГКИХ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Представлены предложения о путях применения результатов комплексных вероятностных исследований снеговой нагрузки при проектировании сверхлегких стропильных сталежелезобетонных конструкций.

Ключевые слова: *снеговая нагрузка, вероятностная модель, «снеговой мешок», сталежелезобетонная конструкция.*

*S.F. Pichugin, Dr. Tech. Sc., Prof., Yu.V. Dryzhyruk, Ph.D., senior teacher,
I.V. Molka, senior teacher, N.M. Popovich, senior teacher
Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk*

CONCEPTUAL PROBABILISTIC APPROACHES TO ACCOUNTING FOR THE SNOW LOAD IN DESIGN OF ULTRALIGHT COMPOSITE STRUCTURES

The offers on ways of application of results of complex probabilistic researches of snow load at design of ultra-light truss composite structures are presented.

Keywords: *snow load, probabilistic model, snow bag, connection composite structure.*

Надійшла до редакції 14.10.2012

© С.Ф. Пічугін, Ю.В. Дрижирук, І.В. Молька, Н.М Попович