

УДК 624.042.4

Аналіз розвитку норм проектування щодо снігового навантаження

Пічугін С.Ф., д.т.н., **Дрижирук Ю.В.**, аспірант

Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка,
Україна

Анотація. Наводиться порівняльний аналіз вітчизняних ДБН В.1.2.-2:2006 "Навантаження і впливи" та закордонних норм проектування Eurocode 1 і ASCE 7-05 на прикладі оцінки параметрів снігових мішків біля перепадів висот будівель. Пропонуються снігозахисні конструкції для боротьби з підвищеним сніговим навантаженням.

Аннотация. Приводится сравнительный анализ отечественных ДБН В.1.2.-2:2006 "Нагрузки и воздействия" и зарубежных норм проектирования Eurocode 1 и ASCE 7-05 на примере оценки параметров снежных мешков около перепадов высот зданий. Предлагаются снегозащитные конструкции для борьбы с повышенной снежной нагрузкой.

Abstract. The comparative analysis is cited concerning Ukrainian DBN V.1.2.-2:2006 "Loads and influences" and foreign building norms Eurocode 1 and ASCE 7-05 by the example of parameters estimation of snow sacks near the over-falls of buildings heights. Snow protective constructions are offered to resist increased snow loading.

Ключові слова: навантаження і впливи, снігове навантаження, снігозахисні конструкції.

Постановка проблеми. Із введенням в дію нових вітчизняних норм ДБН В.1.2.-2:2006 "Навантаження і впливи" виникає багато питань, пов'язаних із відповідністю даного нормативу світовим аналогам, зокрема, підходу до нормування снігового навантаження. Також зацікавлення викликають снігозахисні конструкції для зниження цього виду навантаження біля перепадів висот будівель.

Аналіз останніх досліджень. Дослідження розподілу снігу по поверхні землі на території колишнього СРСР велися з початку XIX століття. Короткий огляд вітчизняних норм та порівняння їх із закордонними виконано в [4, 5]. Основні положення щодо проектування снігозатримувальних конструкцій наведені в [2].

Виділення невирішених частин загальної проблеми. Відсутній порівняльний аналіз визначення розподілу снігу біля перепадів висот будівель за методиками вітчизняних та закордонних норм.

Також актуальною є проблема боротьби зі "сніговими мішками", що утворюються внаслідок добудови до існуючих будівель нових, більш високих.

Мета роботи. Метою даної статті є порівняльний аналіз вітчизняних і закордонних норм та пропозиції щодо снігозатримувальних конструкцій.

Порівняльний аналіз норм проектування. Питання коректного врахування снігового навантаження є досить актуальним у наш час. Нехтування ним може призвести до важких наслідків. Так, на території Російської Федерації сніг став причиною численних випадків руйнувань та людських жертв: 2004 р. – руйнування Трансвааль-парку в м. Москва, 28 загиблих, причина – перевантаження покрівлі снігом; 2005 р. – місто Чусовий, руйнування басейну; 2006 р. – руйнування Басманного ринку, 65 загиблих, причина – мокрий сніг; 2007 р. – падіння даху супермаркету в м. Нижній Новгород, 2 загиблих, причина – перевантаження старої покрівлі снігом. Вражають своєю масштабністю руйнування виставкового залу в Польщі, ковзанки в Німеччині та покрівлі супермаркету в Чехії (2006 р.), причиною яких також стало снігове навантаження. В Україні, наприклад, мало місце руйнування даху школи в Луганській області (2006 р.), втрата несучої здатності легких конструкцій покриття в південних районах.

Нормування снігових навантажень розвивалося на основі досвіду експлуатації й будівництва будівель і споруд, а також у міру вдосконалення методів розрахунку будівельних конструкцій. Одним із перших нормативних документів щодо снігового навантаження в СРСР був ОСТ/ВКС 7626/Б (уведений з 1 червня 1933 р.). Потім з'явилися ОСТ 90058-40 (1940 р.), СНиП II-Б.1-54 (1954 р.), СНиП II-А.11-62 (1962 р.), СНиП II-6-74 (1974 р.), в яких не тільки додавалися та уточнювалися схеми розподілу снігового навантаження на покрівлях, а змінювалися підходи до його нормування. Всі ці напрацювання сприяли розробленню у 1985 р. СНиП 2.02.07-85 "Нагрузки и воздействия".

У порівнянні з попередніми документами уточнені схеми розподілу снігових навантажень для будинків зі склепінчастими і близькими до них за обрисом покриттями та покриттями з перепадом висот, уведено нові схеми розподілів снігового навантаження для висячих покриттів циліндричної форми й для покриттів із поздовжніми ліхтарями. Уточнена залежність зносу снігу вітром від висоти і ширини будинків. Але прагнення до уніфікації нормативних параметрів призвело до того, що при нормуванні снігових навантажень в один сніговий район включені території з досить великим розкидом снігових навантажень. Значні території Сибіру відносяться до II і навіть до I снігового району, однак

характер снігового покриву в цих районах істотно відрізняється від південних районів України й Північного Кавказу, що в ряді випадків стало причиною аварій легких покриттів на півдні України.



Рис. 1. Руйнування легких конструкцій під дією снігу



Рис. 2. Снігове навантаження на покрівлях та на поверхні землі

До 2007 р. снігові навантаження на покриттях будинків в Україні визначались на основі СНиП 2.01.07-85* "Нагрузки и воздействия" зі змінами № 132 1988 р., де значно доопрацьовані схеми снігового

навантаження, але з ряду причин не забезпечувався достатній рівень надійності запроєктованих конструкцій. Однією з причин була недосконалість імовірнісної моделі снігового навантаження на поверхні землі, а як наслідок – низька забезпеченість розрахункових навантажень. Запропоноване уявлення снігового навантаження у вигляді квазістаціонарного випадкового процесу [6, 9]. На базі узагальнених параметрів даної моделі снігового навантаження вдалося кількісно оцінити забезпеченість нормативів снігового навантаження для території України. Дані порівняльного розрахунку показують невелику повторюваність районних нормативних і розрахункових навантажень за СНиП у межах 3–5 років, що відображає відомий факт недостатньої забезпеченості й зниженості нормованих СНиП снігових навантажень.

Особливості європейських норм значною мірою враховані при розробленні ДБН В.1.2-2:2006 "Навантаження і впливи" [1], що введені в дію з 1 січня 2007 року. Результати багаторічних досліджень дозволили усунути суттєві недоліки СНиП, зокрема районування території за рівнем навантаження. У ДБН снігове навантаження вважається змінним повторним навантаженням з трьома розрахунковими значеннями: граничним (аналог розрахункового навантаження в нормах СНиП), експлуатаційним та квазіпостійним. Їх значення обчислюються на основі характеристичного значення снігового навантаження S_0 , що дорівнює вазі снігового покриву на 1 м^2 поверхні землі, що може перевищуватись раз на 50 років. Надійність конструкцій регулюється коефіцієнтом γ_f (для граничного навантаження), що залежить від строку служби конструкції (середнього періоду повторюваності). Також збільшена кількість чинників, що впливають на рівень даного навантаження.

Граничні розрахункові снігові навантаження в новому ДБН [1] у більшості випадків перевищують відповідні значення, встановлені СНиП. Для території України це має привести до підвищення рівня надійності конструкцій, хоча й дещо підвищить їх матеріаломісткість.

Відповідно до даних норм Єврокод-1 [7] снігове навантаження на покриття будинків і споруд визначається за формулою

$$S = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k, \quad (1)$$

де μ_1 – коефіцієнт форми покриття; S_k – вага снігового покриву землі, кПа, період повторюваності 50 років; C_e – коефіцієнт, що враховує експозицію поверхні покриття; C_t – термічний коефіцієнт. На відміну від ДБН [1] Єврокод-1 [7] розділяє сніговий мішок на дві складові, обумовлені ковзанням (зсипанням) снігу з верхнього покриття й переносом снігу під дією вітру (рис. 3). Перша складова μ_s чітко пов'язана з ухилом покрівлі,

що знаходиться вище, й може досягати половини снігового навантаження, що перебуває на ній. Друга вітрова складова μ_w визначається з урахуванням ширини верхньої й нижньої ділянок покриття, але обмежена зверху випадком заповнення всього перепаду висот снігом. Таким чином, $\mu_2 = \mu_s + \mu_w$.

Для $\alpha \leq 15^\circ$: $\mu_s = 0$; $\mu_w = (b_1 + b_2)/2h$; $0,8 \leq \mu_w \leq 4$.

γ – густина снігу, що приймається для даного розрахунку, 2 кН/м^3 .

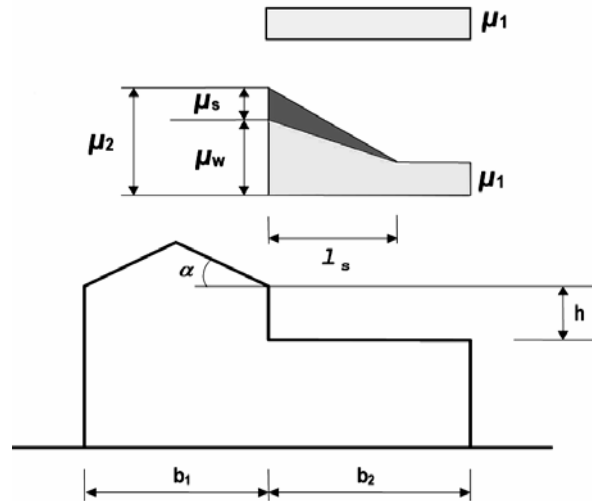


Рис. 3. Схема утворення снігового мішка за Єврокодом

Снігове навантаження на плоскому покритті будинків у стандарті ASCE 7-05 [8] Сполучених Штатів визначається за такою формулою:

$$P_f = 0,7C_e \cdot C_t \cdot I \cdot P_g, \quad (2)$$

де C_e - коефіцієнт, що враховує захищеність покриття будинку сусідніми будівлями, лісом і т.п. (від 0,7 до 1,2); C_t – термічний коефіцієнт (від 1 до 1,2); I – коефіцієнт "важливості" ("відповідальності", від 0,8 до 1,2); P_g – снігове навантаження на землі.

Перехід від навантаження на землі до навантаження на плоскому покритті визначають за наступною формулою:

$$P_s = C_s \cdot P_f, \quad (3)$$

де C_s – коефіцієнт, що враховує ухил.

Всі коефіцієнти переходу до снігового навантаження на покритті встановлені у взаємозв'язку між собою. Для рівномірно розподіленого навантаження на плоскому покритті коефіцієнт C_s приймається рівним 1,0.

Коефіцієнт "відкритості" C_e враховує положення будинку на певній місцевості та перебуває у межах від 0,7 до 1,3.

У стандарті ASCE 7-05 за термічними умовами покриття розділені на три категорії: "теплі", покриття, що частково стримують тепловтрати, і холодні. Коефіцієнт C_t має відповідно для цих категорій значення 1; 1,1 і 1,2, тобто передбачене зростання навантажень для холодних покриттів.

На покриттях будинків із перепадом висот сніг розподіляється наступним чином (рис. 4).

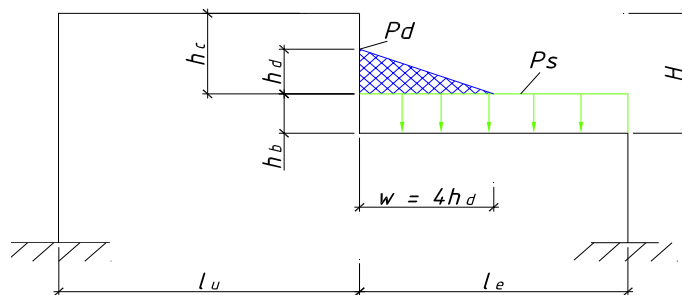


Рис. 4. Розподіл снігового навантаження на покриттях із перепадами висот

Стандарт рекомендує на нижньому покритті біля перепаду передбачати додатково, крім рівномірно розподіленого навантаження P_s , трикутне навантаження від додаткового накопичення снігу, викликаного переносом його вітром із найбільшою ординатою P_d (рис. 4). Навантаження від снігу P_d не враховуються при $h_c h_b < 0,2$, де h_c – висота перепаду; h_b – висота снігу на землі. Висота снігу, що накопичується в перепаді, визначається за формулою

$$h_d = 0,43 \sqrt[3]{l_u} \sqrt[4]{P_g} + 10 - 1,5, \quad (4)$$

де l_u – прогін верхнього покриття; P_g – розрахункове снігове навантаження на землі (вага снігового покриву на землі) в l_b/f_t^2 .

Висота рівномірно розподіленого снігового покриву $h_b = P_s/\gamma$, висота h_d не повинна бути вище, ніж h_c (рис. 4). Довжина w епюри додаткового навантаження дорівнює $4h_d$. Якщо ця епюра перевищує прогін нижнього покриття, то довжина w приймається рівною прогону нижнього покриття. Максимальне значення додаткового навантаження P_d дорівнює $h_d \gamma$, де γ – щільність снігового покриву на покрівлі, визначена за формулою

$$\gamma = 0,13P_g + 14, \text{ система SI: } \gamma = 0,426P_g + 2,2, \quad (5)$$

де P_g – розрахункове снігове навантаження на землі в lb/ft^2 .

Щільність γ приймається не більше $4,7 \text{ кН/м}^3$.

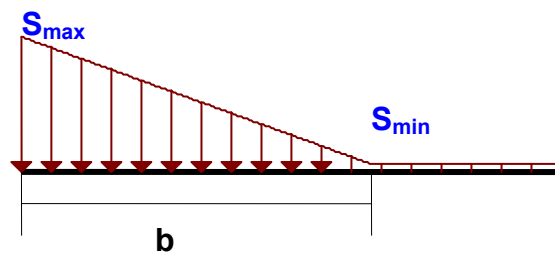
Для проведення порівняльного аналізу взято житловий будинок у м. Полтаві. Снігове навантаження на поверхні землі з урахуванням періоду експлуатації будівлі 100 років для розрахунків за всіма нормами вважалось рівним $1,653 \text{ кПа}$. Були розглянуті наступні випадки перепадів висот. Опустивши розрахунки, що виконувались у відповідності до нормативних документів, маємо наступні параметри снігових мішків (табл. 1):

Таблиця 1

Параметри епюру снігового навантаження

Випадок	l ₁ , м	l ₂ , м	h, м
1	7,2	7,5	2,41
2	20,7	19,2	2,62
3	100	17,1	6

l₁ – довжина верхньої покрівлі, l₂ – довжина нижньої покрівлі, h – перепад висоти.
Епюра снігового навантаження



S_{min}; S_{max} – найменше та найбільше значення ординат снігового навантаження;
b – довжина зони підвищених сніговідкладень.

Випадок	ДБН В.1.2-2:2006			Eurocode 1			ASCE 7-05		
	b, м	S _{min} , кПа	S _{max} , кПа	b, м	S _{min} , кПа	S _{max} , кПа	b, м	S _{min} , кПа	S _{max} , кПа
1	5,02	0,33	5,45	5	1,32	5,04	2,2	1,16	2,7
2	10,6	0,33	5,95	5,24	1,32	5,95	3,8	1,16	3,9
3	12,7	0,33	6,6	12,0	1,32	6,6	7,5	1,16	6,6

Порівняльну оцінку снігових мішків проведемо за вантажними площами епюр снігового навантаження.

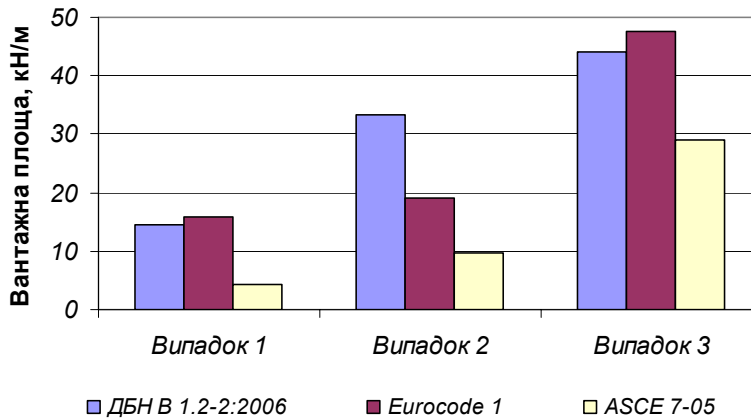


Рис. 5. Порівняння вантажних площ снігового навантаження за різними нормами

Як бачимо з рис. 5, норми ДБН та Eurocode 1 дають приблизно однакові результати. Норми ASCE 7-05 суттєво занижують надлишкове снігове навантаження, що негативно впливає на рівень надійності запроектованих конструкцій. Крім того, норми США є незручними в користуванні, а розрахункові формули дещо складні.

Снігозатримувальні конструкції. Під час реконструкції старих будівель та добудови до них значно вищих нових корпусів створюються перепади висоти між такими будівлями, що сприяє накопиченню снігу та виникненню "снігових мішків". Застосування снігозатримувачів є прогресивним методом боротьби з надлишковим сніговим навантаженням біля перепаду висот. Ці пристрої можуть закріплюватися до несучих конструкцій більш високої нової будівлі та сприймати надлишкове навантаження, що враховується при проектуванні.

Авторами доповіді за допомогою снігозатримувачів вирішені проблеми надлишкового снігового навантаження на 3-х об'єктах, де поруч із існуючими було споруджено набагато вищі нові будівлі. Розглянемо детальніше варіанти застосованих інженерних рішень.

1. Снігозатримувач, що є продовженням даху нової будівлі, доцільно застосовувати в ситуаціях, подібних до зображеної на рис. 6.

Дах нової будівлі продовжується до перетину з дахом існуючої будівлі. При цьому утворюється суцільний схил, зникає перепад висот (перекривається конструкцією снігозатримувального пристрою), "сніговий мішок" узагалі не виникає.

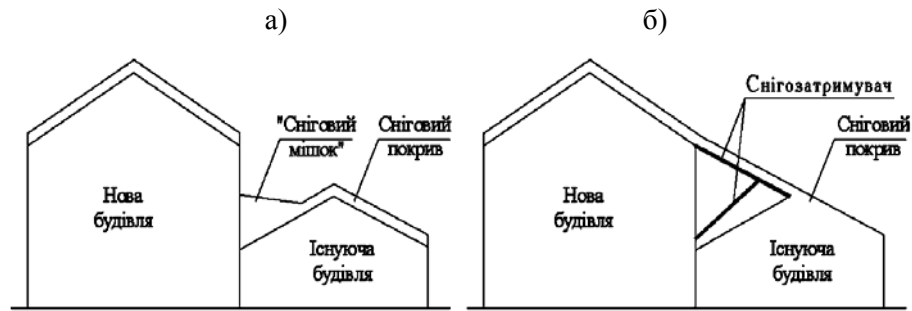


Рис. 6. Розподіл снігового навантаження по покрівлі будинку:
а) без снігозатримувача; б) із застосуванням снігозатримувача-продовження даху

2. Снігозбирач між будівлями. Між новою й існуючою будівлями встановлюється жолоб, у який здувається та сповзає сніг із покрівель (рис. 7). Ухил жолоба сприяє відведенню талої води й снігу на поверхню землі.

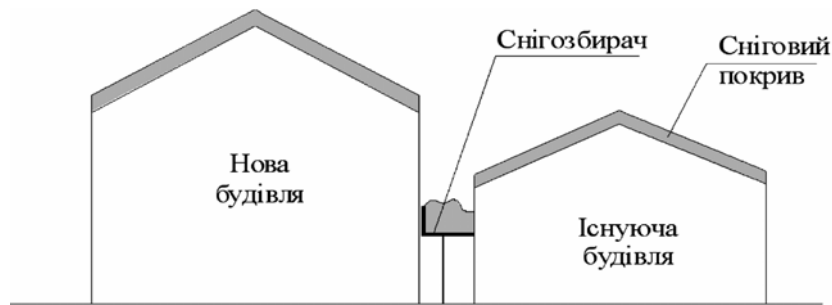


Рис. 7. Снігозбирач між будівлями

Застосуванню даного виду снігозбирачів можуть сприяти відповідні конструктивні особливості будівель.

3. Снігоутримувач-консоль (рис. 8) застосовується коли неможливо або недоцільно продовжувати покрівлю високої будівлі. Конструкція являє собою консоль, що закріплюється до колон нового об'єкта та продовжується до покрівлі існуючого. Зрозуміло, що при цьому виникає перепад висот, але "сніговий мішок" сприймається снігозапобіжником.

Запропоновані конструкції продовжують досліджуватися, розробляються підходи до їх проектування.

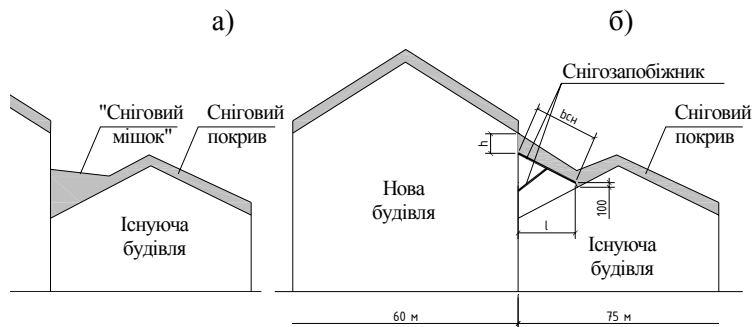


Рис. 8. Снігозатримувач-консоль:
а) без снігозатримувача; б) із застосуванням снігозатримувача-консолі

Висновки

Державні будівельні норми України враховують новітні досягнення норм Євросоюзу Eurocode 1, хоча й успадкували схеми розподілу снігу по покрівлях зі СНиП 2.01.07-85*. Незважаючи на меншу кількість відповідних схем, представлених в Eurocode, вони в більшості випадків дають аналогічні з ДБН результати, а їх розрахункові формули простіші та зручніші в застосуванні.

Виходячи зі складності розрахункових формул норм США ASCE 7-05 (2005 р.), великої кількості варіантів розподілу снігу по покрівлях, можна судити про високу точність визначення снігового навантаження. Але порівняльний аналіз показав значне заниження даними нормами параметрів "снігових мішків".

Таким чином, норми щодо снігового навантаження необхідно вдосконалювати з урахуванням світових досягнень у цій галузі. В складних випадках розрахунок слід проводити згідно з рекомендаціями різних норм, що призведе до підвищення рівня надійності конструкцій. Також необхідно приділяти більше уваги впровадженню снігозахисних інженерних заходів, котрі є прогресивним методом у боротьбі з надлишковим сніговим навантаженням.

Література

- [1] ДБН В.1.2.-2-2006 Навантаження і впливи. Норми проектування. – К.: 2006. – 60 с.
- [2] Пичугін С.Ф., Семко О.В., Дрижирук Ю.В. Засоби боротьби з підвищеним сніговим навантаженням на покрівлю // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво)/ Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. – Вип. 20. – ПолтНТУ, 2007.
- [3] Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / В.Н. Гордеев, А.И. Лантух-Лященко, В.А. Пашинский, А.В. Перельмутер, С.Ф. Пичугин. Под общей ред. А.В.Перельмутера. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 482 с.
- [4] 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. – 246с.
- [5] Пичугин С.Ф. Вероятностное описание снеговых нагрузок для территории Украины // Технічна метеорологія Карпат. Матеріали першої Міжнародної науково-технічної конференції ТМК-98. – Львів, 1998. – С. 85 – 88.
- [6] EN 1991-1-3. Eurocode 1 – Actions on Structures. – Part 1–3: General Actions – Snow Loads. – July 2003. – 56 p.
- [7] ASCE 7-05. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. – American Society of Civil Engineers, 2005 (with commentary).
- [8] Snow Engineering / Recent Advances and Developments / Ed. Erik Hjørth-Hansen, Ivar Holand, Sveninung Loset and Harald Norem. – Rotterdam: A.A. Balkema, 2000. – 456 p.

Надійшла до редколегії 15.07.2008 р.