

УДК 624.014.2:624.042.4

Вплив прибудов на несучу здатність конструкцій легкого покриття виробничого цеху

Пічугін С.Ф., д.т.н., **Семко О.В.**, д.т.н., **Гасенко А.В.**, к.т.н.,
Дрижирук Ю.В., аспірант

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка,
Україна

Анотація. У статті розглянуто вплив прибудов нових цехів до існуючої будівлі виробничого цеху на несучу здатність конструкцій легкого покриття за рахунок зміни снігового навантаження. Внаслідок прибудови утворюються снігові мішки, що спричиняють додаткове навантаження на покрівлю, а отже і зміну внутрішніх зусиль у елементах ферм покриття.

Аннотация. В статье рассматривается влияние пристроенных зданий к существующему производственному цеху на несущую способность конструкций легкого покрытия за счет изменения снеговой нагрузки. Вследствие пристройки возникают снеговые мешки, что вызывает дополнительные нагрузки на кровлю, а значит и смену внутренних усилий в элементах ферм покрытия.

Abstract. An influence of additional buildings to existing industrial house on bearing ability of light-weight roofing on the reason of changing of snow load is examined. Due to additional building, the snow bags appear, which generate additional load on the roof, as well as changing of internal forces in the truss elements.

Ключові слова: виробничі будівлі, легкі сталеві конструкції покриття, снігове навантаження, несуча здатність.

Постановка проблеми та її обґрунтування. Основним навантаженням на сталеві конструкції легких покриттів промислових та цивільних будівель є снігове навантаження. За діючими нормами [2] снігове навантаження складає для території України близько 50–70% від загального навантаження, що включає і власну вагу конструкцій покриття [3, 5]. Граничне розрахункове значення снігового навантаження на горизонтальну проекцію покриття (конструкції) згідно з [2] залежить від району, в якому буде зводитися будівля, форми конструкцій покриття (ухилу покрівлі, наявності перепадів висот, ендов, парапетів), а також терміну та особливостей режиму експлуатації будівлі. Тому питання розгляду раціональних форм конструкцій легких покриттів промислових і цивільних будівель, що протидіють утворенню так званих “снігових мішків” та, як наслідок, збільшенню місцевого навантаження на покрівлі, є актуальним [1, 3].

Аналіз останніх досліджень та виділення невирішених питань. Метеорологічні дослідження величини снігового навантаження на території України ведуть вже більше століття. Спершу врахування цього навантаження на будівельні конструкції мало детерміністичний підхід, і лише останні десятиріччя почали запроваджувати імовірнісний підхід [4, 6]. Але детерміністичний підхід зберігається і до сьогодні у визначенні надлишкового снігового навантаження в місцях перепаду висот будівель. При цьому не враховується інтенсивність здування снігу вітром.

Мета роботи – виконати порівняльний аналіз впливу прибудов, що мають різну висоту, на зміну внутрішніх зусиль в елементах сталевих конструкцій легкого покриття виробничого цеху за рахунок зміни величини снігового навантаження.

Виклад основного матеріалу. Аналіз впливу величини снігового навантаження на зміну внутрішніх зусиль у елементах сталеві ферми покриття виконано на прикладі виробничого цеху промислового підприємства. Дослідна будівля представляє собою каркасну одноповерхову будівлю з габаритними розмірами 180 × 45 метрів. Основною несучою конструкцією будівлі є поперечні комбіновані рами з прольотами 45 метрів, встановлені з кроком 6 метрів. Колони рам виконані із залізобетону двотаврового поперечного перерізу з жорстким защемленням у фундаменті. Елементи покриття (ферми, прогони, затяжки) виконані зі сталевих прокатних профілів. Ферми покриття обпираються верхнім поясом безпосередньо на залізобетонні колони. Покрівля цеху утеплена та має zenітні ліхтарі, тому під час функціонування цеху та виділення під час виробничого процесу теплоти можливе підтавання снігу на них взимку. Ухил покрівлі – близько 15°.

На рисунку 1 зображений загальний план розташування цехів, на якому дослідний цех – заштрихований – знаходиться між цехами, що планується споруджувати. У зв'язку з цим змінюється розрахункова схема збору снігового навантаження на сталеві конструкції покрівлі існуючого цеху. З однієї сторони планується добудувати цех прольотом 36 метрів із покрівлею в одному рівні з існуючим. З іншої сторони – цех прольотом 24 метри із вищою на близько 5 метрів покрівлею. Для запобігання передачі ваги “снігового мішка” на існуючий 45-метровий цех, запроєктовано “снігозбірний” 6-метровий цех із висотою в одному рівні з існуючим. На рисунку 2 показаний поперечний розріз виробничих цехів, на якому відображено утворення ендови та перепади висот на межах виробничих цехів.

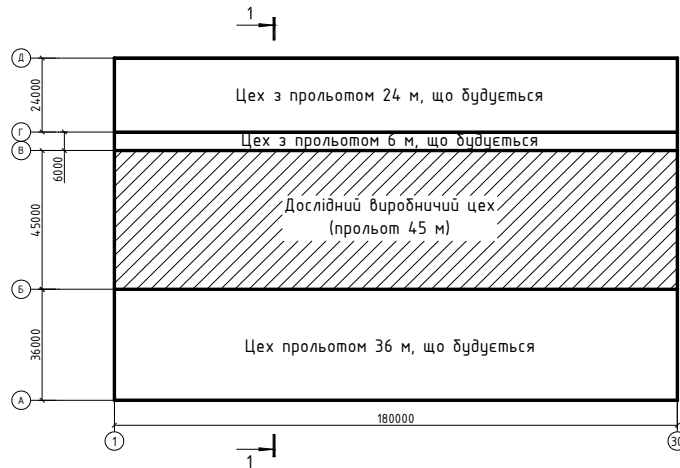


Рис. 1. Загальний план розташування виробничих цехів промислового підприємства

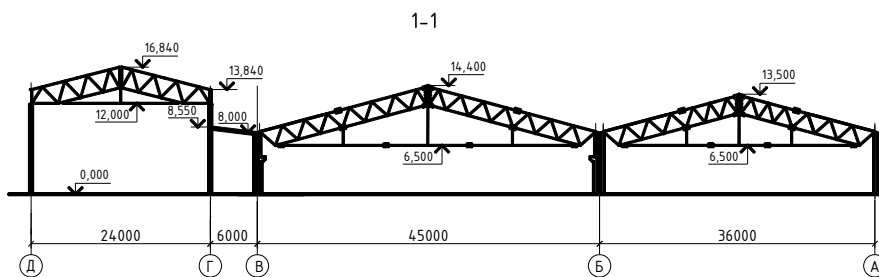


Рис. 2. Поперечний розріз 1-1 виробничих цехів

Ферма покриття виконана з прокатних швелерів із двох відправних марок (половин) із паралельними поясами. Відстань між поясами – 1750 мм. Проліт ферми – 45 метрів. Верхній пояс ферм виконаний з двох швелерів № 22, розкоси, нижній пояс та затяжка – з швелерів № 14. Схематичне креслення ферми показано на поперечному розрізі 1-1 (див. рис. 2) та на схемах завантаження на рисунку 3.

Збір навантажень на верхній пояс кроквяної ферми та визначення напружень у її елементах для зручнішого порівняння виконувалося у табличній формі. Граничне розрахункове значення снігового навантаження на горизонтальну проекцію покриття (конструкції) згідно [2] обчислюється за формулою:

$$S_m = \gamma_{fm} \cdot S_0 \cdot C; \quad (1)$$

де γ_{fm} – коефіцієнт надійності за граничним значенням снігового навантаження, що визначається згідно з п. 8.11, [2]. Оскільки дана будівля відноситься до виробничих, то термін її експлуатації становить 60 років за додатком В, [2], тому $\gamma_{fm} = 1.04$ (табл. 8.1, [2]);

S_0 – характеристичне значення снігового навантаження (в Па), що визначається згідно з п. 8.5, [2]. Характеристичне значення снігового навантаження S_0 (в Па) дорівнює вазі снігового покриву на 1 квадратний метр поверхні ґрунту, яке може бути перевищене, у середньому, один раз за 50 років;

C – коефіцієнт, що визначається за вказівками п. 8.6, [2]:

$$C = \mu \cdot C_e \cdot C_{alt}; \quad (2)$$

де μ – коефіцієнт переходу від ваги снігового покриву на поверхні ґрунту до снігового навантаження на покрівлі, який визначається за пп. 8.7, 8.8 [2]. Визначаємо далі згідно зі схемою 5 дод. Ж, [2], (рис. 1), оскільки в даному випадку маємо плоскі покриття з $\alpha \approx 15^0$;

C_e – коефіцієнт, що враховує особливості режиму експлуатації на накопичення снігу на покрівлі й визначається за п. 8.9 [2]. Приймаємо $C_e = 1$, крім розрахунку типу Д, де враховується можливість підтавання снігу на зенітних ліхтарях, і в цьому типі розрахунку приймаємо $C_e = 0.8$ тільки над зенітними ліхтарями;

C_{alt} – коефіцієнт географічної висоти, що визначається за п. 8.10 [2]. Оскільки висота розміщення будівлі над рівнем моря менша, ніж 0,5 км, то $C_{alt} = 1$.

Розроблено п'ять варіантів розрахунку, які відрізняються типом врахування снігового навантаження (наявності прибудов різної висоти до існуючого дослідного цеху):

тип А – снігове навантаження рівномірне, $\mu = 1$ – виробнича будівля без прибудов (сх. 1, дод. Ж [2]) (рис. 3, а);

тип Б – снігове навантаження із врахуванням ендови між існуючим 45-ти та прибудованим 36-метровими прольотами, коли $\mu = 1,4$ на одній половині 45-метрового прольоту, а на іншій – $\mu = 0,6$ (сх. 5, дод. Ж [2]) (рис. 3, б);

тип В – снігове навантаження з урахуванням снігового мішка від вищого 24-метрового прольоту, що прибудовується, $\mu = 4 \dots 0,5$ (сх. 8, дод. Ж [2]) (рис. 3, в);

тип Г – снігове навантаження з урахуванням ендови між існуючим 45-ти та прибудованим з однієї сторони 36-метровими прольотами, де $\mu = 1,4$, та з урахуванням снігового мішка від вищого 24-метрового прольоту, що прибудовується з іншої сторони, $\mu = 4 \dots 0,5$ (сх. 5 і 8, дод. Ж [2]) (рис. 3, г);

тип Д – снігове навантаження з урахуванням ендови між існуючим 45-ти та прибудованим з однієї сторони 36-метровими прольотами, де $\mu = 1,4$, та з урахуванням снігового мішка від вищого 24-метрового прольоту, що прибудовується з іншої сторони, $\mu = 4 \dots 0,5$ та з урахуванням можливості підтавання снігу на zenітних ліхтарях цеху (сх. 5 і 8, дод. Ж та п. 8.9 [2]) (рис. 3, г).

На рисунку 4 показана схема завантаження та закріплення досліджуваної кроквяної ферми. Зосереджене навантаження від власної ваги конструкцій покрівлі та снігового навантаження на верхній пояс кроквяної ферми передається через прогони, які встановлені з кроком 1550 мм.

Результатом статичного розрахунку ферм є значення внутрішніх зусиль у елементах ферм покриття. Найбільш небезпечні виявилися елементи верхнього поясу, в яких, крім стискаючої поздовжньої сили, виникає ще й згинаючий момент від позавузлового прикладення навантаження (див. рис. 4). Перевірка несучої здатності елемента верхнього поясу, що працює на стиск із згином, виконувалася за наближеною формулою:

$$\sigma = \frac{N}{A \cdot \varphi_{\min}} + \frac{M_{\max}}{W_x} \leq R_y \cdot \gamma_c. \quad (3)$$

Точна перевірка стійкості елемента верхнього поясу кроквяної ферми, що працює на стиск із згином, виконувалася згідно з [7] за формулою:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_e \cdot A} \leq R_y \cdot \gamma_c, \quad (4)$$

де φ_e – коефіцієнт поздовжнього згину, що визначається в залежності від приведеної умовної гнучкості $\bar{\lambda}$ та приведеного відносного ексцентриситету m_{ef} по табл. 74 [7].

Перевірка несучої здатності розтягнутого елемента виконувалася за формулою:

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq R_y \cdot \gamma_c \quad (5)$$

Слід відмітити, що формула (3) у порівнянні з формулою (4) дає завищені значення напружень в елементах. Тому результати розрахунку, занесені до таблиці 1, визначалися за формулою (3). У таблицю 1 занесені значення напружень окремо від поздовжньої сили та згинаючого моменту, що виникають в елементі ферми, а потім наведена їхня сума.

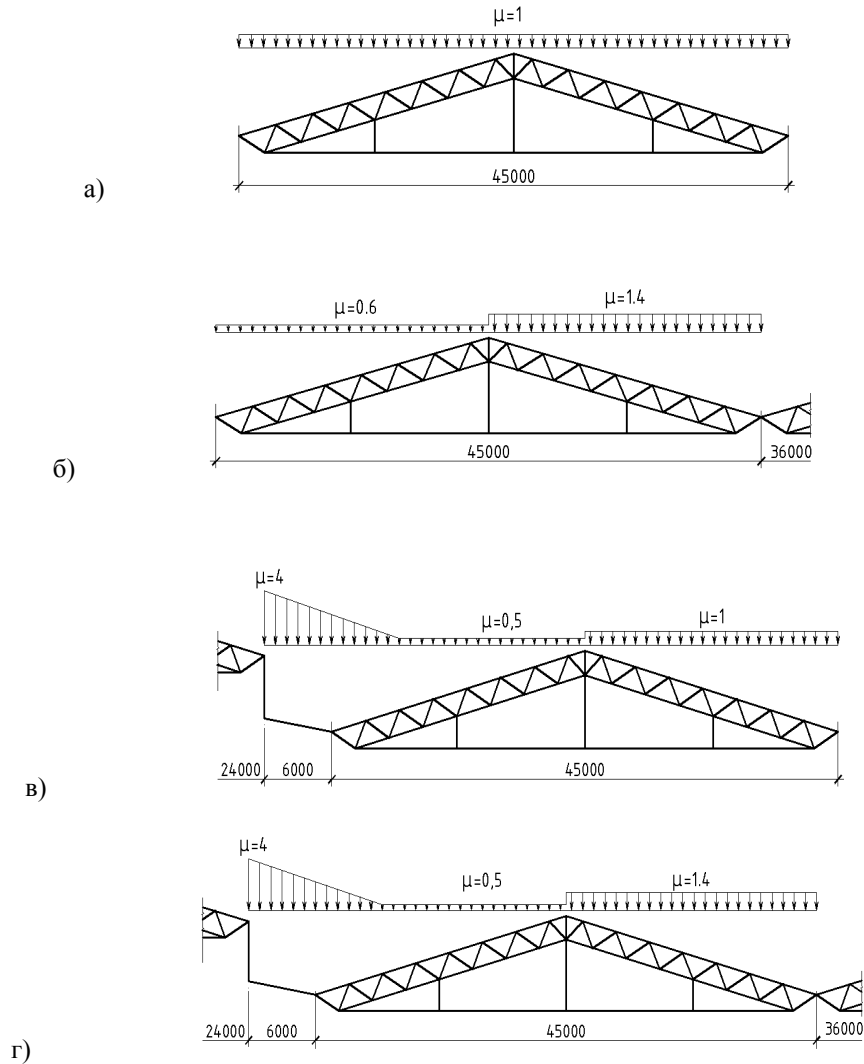


Рис. 3. Схеми врахування снігового навантаження на сталеві ферми покриття

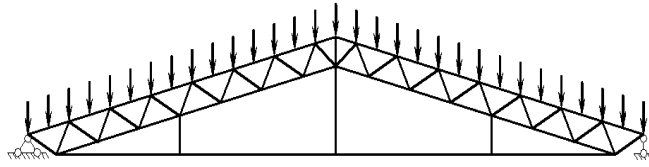


Рис. 4. Схема завантаження та закріплення кроквяних ферм

Під час виконання порівняльного аналізу напруження визначалися тільки в елементах кожного типорозміру з найбільшими внутрішніми зусиллями. Вихідні дані та результати занесені до таблиці 1 згідно з типом урахування снігового навантаження. Скорочення в таблиці: в. п. – верхній пояс (виконаний з двох швелерів № 22); н. п. – нижній пояс (2 швелера № 14); з – затяжка (2 швелера № 14); p_2^- , p_2^+ – стиснутий і розтягнутий розкоси відповідно (2 швелера № 14); p_1^- , p_1^+ – те саме (один швелер № 14).

Таблиця 1

Напруження в елементах ферми при різних типах врахування снігового навантаження

Елемент ферми	Напруження в елементах ферми в МПа за типом розрахунку:														
	А			Б			В			Г			Д		
	σ_N	σ_M	$\sigma_{заг}$	σ_N	σ_M	$\sigma_{заг}$	σ_N	σ_M	$\sigma_{заг}$	σ_N	σ_M	$\sigma_{заг}$	σ_N	σ_M	$\sigma_{заг}$
в.п.	131	47	178	155	60	215	125	48	173	154	60	214	148	55	203
н.п.	101	–	101	125	–	125	90	–	90	114	–	114	117	–	117
з	183	–	183	188	–	188	161	–	161	185	–	185	177	–	177
p_2^-	140	–	140	159	–	159	131	–	131	158	–	158	149	–	149
p_2^+	79	–	79	97	–	97	78	–	78	97	–	97	94	–	94
p_1^-	90	–	90	110	–	110	88	–	88	110	–	110	105	–	105
p_1^+	125	–	125	164	–	164	130	–	130	166	–	166	141	–	141

Висновки. Аналізуючи отримані дані значень напружень в елементах кроквяних сталевих ферм покриття, наведені у таблиці 1, можна зробити наступні висновки з проведеного дослідження: найбільші напруження виникають в елементах ферми у випадку врахування утворення снігового мішка в ендові між двома прольотами виробничих цехів із похилими покрівлями при куті нахилу покрівлі $\alpha \geq 15^{\circ}$ (напруження більші до 20% у порівнянні з рівномірно розподіленим сніговим навантаженням). Врахування “снігового мішка” від прибудови вищого прольоту майже не впливає на зміну напружень в елементах ферми. Це досягнуто за рахунок спорудження додаткового 6-метрового прольоту, що збирає майже весь “сніговий мішок” на себе. При врахуванні можливості підтавання снігу на покрівлі через неутеплені zenітні ліхтарі та внаслідок цього зменшення його ваги на 25% напруження в елементах ферми зменшуються до 10%.

Література

- [1] Горохов Е. В. Надежность эффективных пространственных большепролетных конструкций покрытий спортивных сооружений / Е. В. Горохов, В. Ф. Мушанов // Сб. науч. трудов Института строительства и архитектуры МГСУ. – М., 2008. – С. 91–95.
- [2] ДБН В.1.2–2:2006. Навантаження і впливи : чинний з 2007–01–01. – К. : Мінбуд України, 2006. – 59 с.
- [3] Кінаш Р. І. Снігове навантаження в Україні / Р. І. Кінаш, О. М. Бурнаєв. – Львів : Вид-во науково-технічної літератури, 1997. – 848 с.
- [4] Пашинський В. А. Атмосферні навантаження на будівельні конструкції для території України / В. А. Пашинський. – К., 1999. – 185 с.
- [5] Пичугін С. Ф. Вероятностное описание снеговых нагрузок для территории Украины / С. Ф. Пичугін // Технічна метеорологія Карпат : мат. Першої Міжнар. наук.-техн. конф. ТМК-98. – Львів : Окскарт, 1998. – С.85–90.
- [6] Пичугін С. Ф. Засоби боротьби з підвищеним сніговим навантаженням на покрівлю / С. Ф. Пичугін, О. В. Семко, Ю. В. Дрижирук // Зб. наук. пр. Серія : Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава : ПолтНТУ, 2007. – Вип. 20.– С. 95–100.
- [7] СНиП II-23-81*. Стальные конструкции. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1990. – 96 с.