

ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО КРОКУ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ЛЕГКОГО СТАЛЕВОГО ПРОГІННОГО ПОКРИТТЯ

Розглянута задача підбору оптимального кроку прогонів покриття. Головними критеріями вибору була мінімальна маса і вартість складових покрівлі (прогонів та сталевих профільованих настилу). Проведено розрахунки сталевих профільованих настилу й суцільних прогонів для всіх снігових районів України. Отримано таблиці та графіки сумарної ваги конструкцій покрівлі, а також таблицю оптимального кроку прогонів.

Ключові слова: прогони, сталевий профільований настил, снігове навантаження, маса, вартість.

Рассмотрена задача по подбору оптимального шага прогонов для покрытия. Главным критерием выбора была минимальная масса и стоимость составляющих покрытия (прогонов и стального профилированного настила). Проведены расчеты стального профилированного настила и прогонов для всех снеговых районов Украины. Получены таблицы и графики суммарного веса конструкций покрытия, а также таблица оптимального шага прогонов.

Ключевые слова: прогоны, стальной профилированный настил, снеговая нагрузка, масса, стоимость.

Given article is devoted for selection of the optimum spacing for steel roof beams. The main criterion of a choice was the minimum of weight and cost for steel roof components. The analysis was made for steel roof beams and corrugated steel sheets under snow loads for territory of Ukraine. The tables and diagrams of total weight and costs for steel roof components have been received. The table of optimum spacing for steel roof beams has been proposed.

Keywords: steel roof beams, corrugated steel sheets, snow loads, weight, cost.

Постановка завдання. У сучасних умовах відсутні жорсткі вимоги до уніфікації розмірів конструкцій. Основним питанням, яке ставиться перед проектувальником, є мінімізація витрат на виготовлення та монтаж несучих конструкцій.

Для конструкцій покрівель усе частіше застосовуються легкі ефективні матеріали (утеплювачі, полімерно-бітумні руберойди, мембранні покриття тощо). При цьому власна вага теплої покрівлі не перевищує 20 – 25 кг/м². Для несучих конструкцій покрівлі використовується профільований сталевий оцинкований настил, який пропонується у великому асортименті, численними компаніями-виробниками.

При проектуванні несучих конструкцій прогінних покриттів, у випадку коли їх крок не визначається розміром панелей верхнього пояса ферм, проектувальник стикається з проблемою вибору раціонального кроку прогонів покриття, і йому доводиться займатися варіантним проектуванням.

Відомо, що при збільшенні кроку прогонів їх приведена вага на 1 м² зменшується, а довжина та приведена вага профільованого настилу збільшуються. Тому вибір раціонального кроку прогонів дозволяє знизити вагу і відповідно вартість конструкцій покриття.

Метою даної статті є пошук оптимального кроку сталевих прогонів суцільного перерізу для різних снігових районів України та розроблення таблиць, за якими можна вибрати оптимальний крок.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням вивчення й упровадження легких конструкцій займалися Ф. Тамплон [1], Я. Брудка, М. Лубиньски [2], М. Сахновський [3]. Зокрема, в роботі [2] відмічається, що з розвитком технологій з'являється можливість виготовляти легкі сталеві конструкції, які мають такі ж запаси міцності, що й звичайні. На основі досліджень [3] отримано висновки про те, що витрати сталі за умов використання легких сталевих конструкцій на 1 м² значно нижчі, ніж для традиційних.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. У зв'язку із введенням у дію нових норм проектування [7], було змінено значення снігових навантажень для різних районів України. Також із розвитком виробництва з'явилася велика кількість різних сортamentів. У статті розглянута продукція заводу «ТПК».

Виклад основного матеріалу. До розрахунку приймався сталевий профільований настил і прогони суцільного перерізу (швелери). Прийнято такий склад покрівлі:

- 1) килим із полімерно-бітумного руберойду;
- 2) утеплювач типу Rockwool DachRock, об'ємною вагою 200 кг/м³;
- 3) пароізоляція, виконана з плівки;
- 4) сталевий профільований настил за нормами [4] та довідковими матеріалами [5];
- 5) сталевий прогін із швелера за нормами [6].

Прийнято вагу покрівлі (утеплювач, пароізоляція, гідроізоляційний килим) рівною 25 кг/м². Навантаження від снігу визначено згідно з вимогами [7] для всіх снігових районів, за винятком гірської місцевості.

Для розрахунку сталевих профільованих листів використано таблиці каталогу [5]. Настил підбирався за експлуатаційним навантаженням (при забезпеченні прогину 1/150) та за повним розрахунковим навантаженням.

Експлуатаційне і повне розрахункове значення навантаження на 1 м² площі покрівлі визначались за формулами (1) і (2):

$$q_e = q_e^{i\dot{e}\dot{d}} + q^{ni\dot{i}\dot{a}} \times \gamma_{fe}; \quad (1)$$

$$q_m = \gamma \times q_e^{i\dot{e}\dot{d}} + q^{ni\dot{i}\dot{a}} \times \gamma_{fm}, \quad (2)$$

де $\gamma_{fe} = 0,49$ – коефіцієнт надійності за експлуатаційним значенням снігового навантаження [7, п. 8, таблиця 8.3];

$\gamma = 1,2$; $\gamma_{fm} = 1,04$ – коефіцієнти надійності за граничним значенням постійного та снігового навантаження [7, п. 8.11, таблиця 8.1].

Довжину сталевих профільованих настилів прийнято 12 м. Це дало змогу вести розрахунок настилу по нерозрізній чотирипрогінній схемі для кроку прогонів від 1,5 до 3 м. Орієнтація листів сталевих профільованих настилів – широкі полиці догори.

Довжина прогонів прийнята рівною 6 м, кут нахилу покрівлі – 1,5%, що дозволило знехтувати скатною складовою при розрахунках. Клас сталі прогонів – С235. Розрахунок виконувався з умов роботи прогонів по однопрогінній схемі згідно з вимогами [8].

Перевірка міцності та жорсткості здійснювалася за формулами (3) і (4):

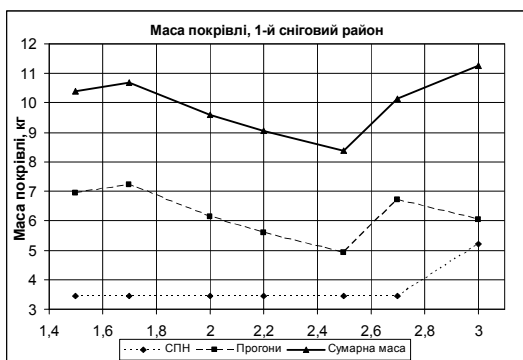
$$\sigma = \frac{M}{W_n} \leq R_y \gamma_c; \quad (3)$$

$$\frac{f}{l} = \frac{5 \times q_e \times l^3}{384 \times E \times I} < \frac{1}{200} = \left[\frac{f}{l} \right]. \quad (4)$$

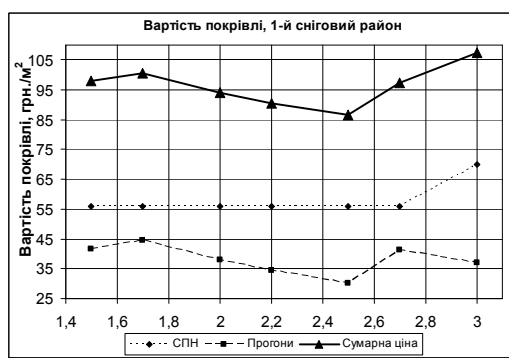
Повне розрахункове й експлуатаційне навантаження від матеріалу покрівлі та снігу визначалось для кожного снігового району за вимогами [6]. Крок прогонів приймався від 1,5 до 3 м через 0,2 – 0,25 м. За навантаженням і кроком прогонів установлювався тип та висота сталевого профільованого настилу.

Таблиця 1 – Підбір марки сталевого профільованого настилу і прогонів

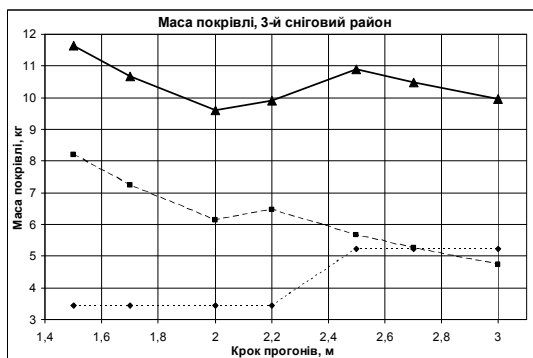
Сніговий район	Крок прогонів, м	Маса СПН, кг/м ²	q_p , кг/м ²	q_e , кг/м ²	Марка СПН за каталогом заводу «ТПК»	Погонне навантаження		Марка прогону	Маса на 1 м ² покрівлі	Сумарна маса, кг/м ²	Вартість СПН, грн./м ²	Вартість прогону, грн./м ²	Сумарна вартість, грн./м ²
						q_p , кН/м	q_e , кН/м						
1	1,5	3,45	118,6	68,4	ТП35-05	1745	1007	12у	6,93	10,38	56,10	41,69	97,79
	1,7	3,45	118,6	68,4	ТП35-05	1978	1141	14у	7,24	10,69	56,10	44,56	100,67
	2,0	3,45	118,6	68,4	ТП35-05	2327	1342	14у	6,15	9,60	56,10	37,88	93,98
	2,2	3,45	118,6	68,4	ТП35-05	2560	1476	14у	5,59	9,04	56,10	34,44	90,54
	2,5	3,45	118,6	68,4	ТП35-05	2909	1678	14у	4,92	8,37	56,10	30,30	86,41
	2,7	3,45	118,6	68,4	ТП35-05	3142	1812	16у	6,70	10,15	56,10	41,29	97,39
	3,0	5,22	120,6	70,2	ТП35-07	3548	2065	16у	6,03	11,25	70,07	37,16	107,24
2	1,5	3,45	139,8	78,4	ТП35-05	2057	1154	14у	8,20	11,65	56,10	50,51	106,61
	1,7	3,45	139,8	78,4	ТП35-05	2332	1307	14у	7,24	10,69	56,10	44,57	100,67
	2,0	3,45	139,8	78,4	ТП35-05	2743	1538	14у	6,15	9,60	56,10	37,88	93,98
	2,2	3,45	139,8	78,4	ТП35-05	3017	1692	14у	5,59	9,04	56,10	34,44	90,54
	2,5	3,45	139,8	78,4	ТП35-05	3429	1923	16у	5,68	9,13	56,10	34,99	91,09
	2,7	5,22	141,8	80,2	ТП35-07	3755	2123	16у	5,26	10,48	70,07	32,40	102,47
	3,0	5,22	141,8	80,2	ТП35-07	4172	2359	16у	4,73	9,95	70,07	29,16	99,23
3	1,5	3,45	161,0	88,4	ТП35-05	2369	1301	14у	8,20	11,65	56,10	50,51	106,61
	1,7	3,45	161,0	88,4	ТП35-05	2685	1474	14у	7,24	10,69	56,10	44,60	100,67
	2,0	3,45	161,0	88,4	ТП35-05	3159	1734	14у	6,15	9,60	56,10	37,88	93,98
	2,2	3,45	161,0	88,4	ТП35-05	3475	1908	16у	6,45	9,90	56,10	39,76	95,86
	2,5	5,22	163,0	90,2	ТП35-07	3996	2211	16у	5,68	10,90	70,07	34,99	105,06
	2,7	5,22	163,0	90,2	ТП35-07	4316	2388	16у	5,26	10,48	70,07	32,40	102,47
	3,0	5,22	163,0	90,2	ТП35-07	4796	2653	16у	4,73	9,95	70,07	29,16	99,23
4	1,5	3,45	182,2	98,4	ТП35-05	2681	1448	14у	8,20	11,65	56,10	50,51	106,61
	1,7	3,45	182,2	98,4	ТП35-05	3039	1641	14у	7,24	10,69	56,10	44,57	100,67
	2,0	3,45	182,2	98,4	ТП35-05	3575	1930	16у	7,10	10,55	56,10	43,74	99,84
	2,2	3,45	182,2	98,4	ТП35-05	3933	2123	16у	6,45	9,90	56,10	39,76	95,86
	2,5	5,22	184,2	100,2	ТП35-07	4517	2456	16у	5,68	10,90	70,07	34,99	105,06
	2,7	5,22	184,2	100,2	ТП35-07	4878	2653	16у	5,26	10,48	70,07	32,40	102,47
	3,0	5,35	184,3	100,3	ТП45-06	5424	2951	16ay	5,10	10,45	64,57	31,42	95,99
5	1,5	3,45	203,4	108,4	ТП35-05	2993	1595	14у	8,20	11,65	56,10	50,51	106,61
	1,70	3,45	203,4	108,4	ТП35-05	3492	1860	16у	8,11	11,56	56,10	49,98	106,08
	2,0	3,45	203,4	108,4	ТП35-05	3991	2126	16у	7,10	10,55	56,10	43,74	99,84
	2,2	5,22	205,4	110,1	ТП35-07	4432	2377	16у	6,45	11,67	70,07	39,76	109,83
	2,5	5,22	205,4	110,1	ТП35-07	5037	2701	16ay	7,80	13,02	70,07	48,05	118,12
	2,75	5,35	205,5	110,3	ТП45-06	5544	2975	16ay	7,09	12,44	64,57	43,68	108,25
	3,0	6,24	206,5	111,2	ТП45-07	6077	3271	18у	5,43	11,67	76,01	33,47	109,48
6	1,5	3,45	224,6	118,4	ТП35-05	3305	1742	14у	8,20	11,65	56,10	50,51	106,61
	1,7	3,45	224,6	118,4	ТП35-05	3746	1974	16у	8,35	11,80	56,10	51,45	107,55
	2,0	3,45	224,6	118,4	ТП35-05	4407	2322	16у	7,10	10,55	56,10	43,74	99,84
	2,2	5,6	227,0	120,5	ТП35-07	4899	2601	16у	6,45	12,05	70,07	39,76	109,83
	2,5	5,6	227,0	120,5	ТП35-07	5567	2956	18у	6,52	12,12	70,07	40,16	110,23
	2,75	6,24	227,7	121,2	ТП45-07	6143	3268	18у	5,93	12,17	71,72	36,51	108,23
	3,0	6,24	227,7	121,2	ТП45-07	6701	3565	18ay	5,80	12,04	71,72	35,73	107,45



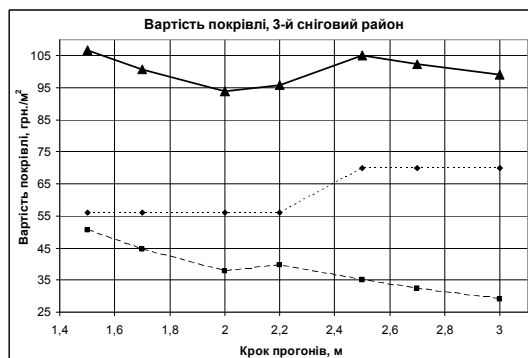
а)



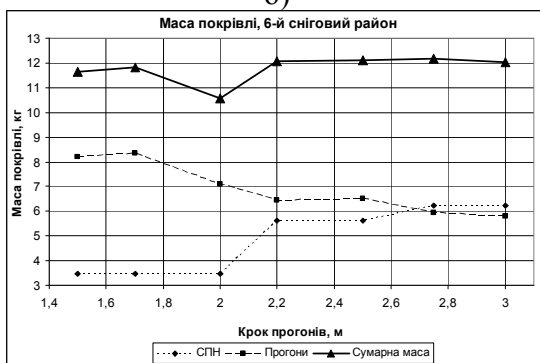
г)



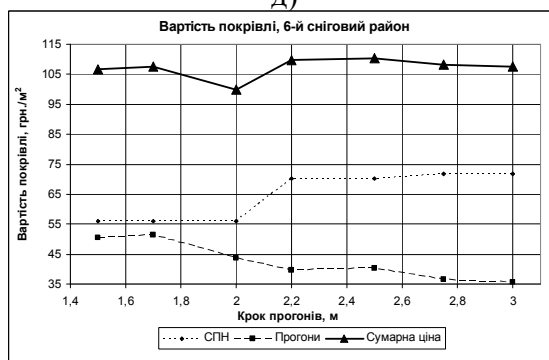
б)



д)



в)



е)

Рисунок 1 – Графіки залежності маси (а, б, в) та вартості (г, д, е) від кроку прогонів покриття

На основі таблиці підбору профільованого настилу і прогонів визначалась маса і вартість використаних матеріалів. Вартість настилу встановлювалася за цінами виробника (завод «ТПК») (приймався сталевий профільований настил із цинковим покриттям). Вартість прогонів визначалась за прайсами металопрокату компанії «УГМК».

Розрахунок сталевих профільованих настилу та сталевих прогонів для всього діапазону снігового навантаження й кроків прогонів зведено в таблицю 1. Для полегшення аналізу отриманих даних було побудовано графіки (рис. 1).

Жирним шрифтом виділено варіанти розкладення прогонів із мінімальною масою та вартістю покрівлі.

Після аналізу отриманих результатів побудовано результуючу таблицю, в якій показані найбільш оптимальні кроки прогонів з умов мінімальної вартості та маси несучих конструкцій покриття (таблиця 2).

Таблиця 2 – Оптимальний крок прогонів

Критерій вибору	Крок прогонів (м) для снігових районів (райони згідно з нормами [7])					
	1-й район	2-й район	3-й район	4-й район	5-й район	6-й район

Мінімальна вартість	2,5	2,2	2,0	2,2	2,0	2,0
Мінімальна маса	2,5	2,2	2,0	2,2	2,0	2,0

Висновок. Визначено оптимальний крок сталевих прогонів суцільного перерізу для різних снігових районів України. Отримані результати одночасно відповідають двом критеріям вибору – мінімальній вартості й мінімальній масі конструкцій. Надалі планується провести роботу з визначення оптимального кроку прогонів у випадку, коли на покрівлю діють навантаження, значення яких відрізняються від маси снігу (маса технологічного устаткування, приладів, інший утеплювач, «зелені покрівлі» та ін.), а також для інших значень довжини прогонів.

Література

1. Тамплон Ф.Ф. *Металлические ограждающие конструкции (для зданий, возводимых в суровых климатических условиях)/ Ф.Ф. Тамплон.* – Л.: Стройиздат, 1988. – 248 с.: ил.
2. Брудка Я. *Легкие стальные конструкции/Я. Брудка, М. Лубиньски, 2-е изд., доп., пер. с польск., под ред. С.С. Кармилова.* – М.: Стройиздат, 1974. – 342 с.
3. Сахновский М.М. *Легкие конструкции стальных каркасов зданий и сооружений/ М.М. Сахновский.* – К.: Будівельник, 1984. – 160 с., ил.
4. ГОСТ 24045-94. *Межгосударственный стандарт. Профили стальные листовые гнутые с трапециевидными гофрами для строительства. ТУ. Межгосударственная научно-техн. комиссия по стандартизации и техническому нормированию в строительстве (МНТКС).* – М., 1994. – 80 с.
5. ТПК. *Комплекс матеріалів для дахів та фасадів. Довідкові дані для проектування.*
6. ГОСТ 8240-72. *Швеллеры стальные горячекатаные. Сортамент.* – М., 1972. – 25 с.
7. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. ДБН В.1.2-2:2006. *Навантаження і впливи. Норми проектування.* – К.: Мінбуд України, 2006. – 75 с.
8. СНиП II-23-81*. *Стальные конструкции / Госстрой России.* – М.: ГУП ЦПП, 2003. – 90 с.
9. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. *Прогини і переміщення. Вимоги проектування: ДСТУ Б В.1.2-3:2006.* – К.: Мінбуд України, 2006. – 30 с.

Надійшла до редакції 23.04. 2010

© М.В. Бібік, М.Б. Туряниця