

2. Чернявский, В.В. К вопросу определения локальных коэффициентов теплообмена для вертикальных воздушных прослоек / В.В. Чернявский // Депонир.: во ВНИИИС рукопись 17.01.86 г., №6508 / ПолтИСИ. – Полтава, 1986. – 17 с.
3. Чернявский, В.В. Расчет воздушных прослоек с переменной толщиной стенок с использованием ЭВМ / В.В. Чернявский, А.М. Пужай // Труды 42-й науч. конф. ПолтИСИ.–Полтава – Кобеляки: МРТ, 1990. – С. 61–62.
4. Чернявский, В.В. Эффективные наружные ограждения с полимерными слоями и воздушными прослойками / Конструктивные признаки и теплофизические аспекты: дис... канд.техн.наук: 05.23.01 / В.В. Чернявский. – МИИТ. – М., 1991. – 275 с.
5. Чернявський, В.В. Обґрунтування алгоритму розрахунку вентильованих повітряних прошарків з перемінною товщиною стінок / В.В. Чернявський // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. пр. – Вип. 13. – Рівне, 2005. – С. 283–289.
6. Фокин, К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / К.Ф. Фокин. – М.: Стройиздат, 1973. – 287 с.
7. Беляев, В.С. Энергоэкономные вентилируемые наружные ограждающие конструкции / В.С. Беляев, Т. Сумбатьянц // Индустриальные бетонные конструкции жилых и общественных зданий: материалы симпозиума. Сб. №1. – М., 1984. – С. 95–97.
8. Lis, P. Potencjalny efekt economiczny racjonalizacja ciepła do ogrzewania lokalnej grupy budynków edukacyjnych // P. Lis, W. Novak / International seminar ENERGOBODOM. – Krasow, 2006, part 2. – P. 433–441.
9. ДБН В.2.6. – 33: 2008. Конструкції будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування, улаштування та експлуатації / за участі Чернявського В.В. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 24 с.
10. ДБН В.2.6. – 31: 2006. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель / за участі Чернявського В.В. – К.: Мінбуд України, 2006. – 65 с.

Надійшла до редакції 08.12. 2010

© В.В. Чернявський, О.И. Юрін, О.В. Скиба

## **АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ РАЗМЕРОВ ВЕНТИЛИРОВАННОЙ ВОЗДУШНОЙ ПРОСЛОЙКИ В ФАСАДНЫХ СИСТЕМАХ «МАРМОРОК»**

*В работе приведены результаты анализа температурно-влажностного режима в вентилируемой прослойке фасадной системы типа «Марморок». Получены зависимости конструктивных параметров прослойки и стены при условии недопущения туманообразования в вентилируемой полости.*

**Ключевые слова:** фасадные системы, конструктивные параметры вентилируемой прослойки, температурно-влажностный режим.

## **THE ANALYSIS OF CONSTRUCTIONAL DIMENSION OF VENTILATED AIR LAYER OF FAÇADE SYSTEM “MARMOROK”**

*The analysis results of temperature-humidity conditions in ventilated layer of facade system of type “Marmorok” are brought in this work. It was obtained relations of constructional parameters of layer and wall upon condition of exclusion of fogging in ventilated air space.*

**The key words:** facade systems, constructional parameters of ventilated layer, temperature-humidity conditions.

**В.В. Чернявський**, к.т.н., професор, **В.О. Семко**, к.т.н., доцент,  
**О.І. Юрін**, ст. викладач, **Д.А. Прохоренко**, магістрант

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

## **ВПЛИВ ПЕРФОРАЦІЇ ЛЕГКИХ СТАЛЕВИХ ТОНКОСТІННИХ ПРОФІЛІВ НА ТЕПЛОФІЗИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ**

*У роботі досліджено теплоізоляційну спроможність зовнішніх стін цивільних будівель на основі каркаса зі сталевих профілів та залежність теплофізичних характеристик термопрофілів від тину перфорації.*

**Ключові слова:** легкі сталеві тонкостінні конструкції, теплоізоляція, стіна, термопрофіль.

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Конструкції на основі легких сталевих тонкостінних (ЛСТ) профілів набувають усе більшої популярності в будівельній галузі України. У країнах Заходу дана технологія застосовується досить давно та успішно. Однією з важливих сфер застосування ЛСТ-конструкцій є зведення навісних стін у багатоповерховому будівництві та несучих стін малоповерхових будівель. Але наявність у таких стінах теплопровідних включень у вигляді сталевих профілів ставить під питання їх теплоізоляційні характеристики. Розв'язанням даної проблеми може бути виконання перфорації стінок профілів, що широко застосовується на практиці, хоча даний метод та його ефективність на сьогодні слабо вивчені навіть на світовому рівні.

**Аналіз останніх досліджень.** Питання вивчення експлуатаційних характеристик конструкцій зовнішніх огорожень на основі легких сталевих каркасів є недостатньо вивченим, особливо в нашій країні. Теплофізичні якості зовнішніх стінових огорожень вивчали такі науковці, як В. Деркач, А. Найчук [2], Р. Кузьмичев [3, 4], Н. Журіна [3]. Дослідженню теплофізичних характеристик перфорованих сталевих профілів присвячені праці Т. Hoglund [1].

**Постановка мети.** Метою й основними завданнями даного дослідження є оцінка впливу різних варіантів перфорації ЛСТ-профілів на їх теплофізичні характеристики та теплозахисні властивості огорожень у цілому, визначення шляхів мінімізації цього впливу.

**Методика досліджень.** Дослідження виконувалось у кілька етапів шляхом розрахунку двовимірних температурних полів методом скінченних елементів за допомогою програмного комплексу «ELCUT 5.1».

**Виклад основного матеріалу та результати досліджень.** Конструкції розраховувалися на відповідність вимогам норм [5]. Розрахункові умови досліджень приймалися, як для зовнішньої стіни цивільного будинку в першій температурній зоні України.

Отже, конструкція досліджувалася на відповідність таким мінімальним критеріям:  
 $R_{q_{\min}} = 2,8 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт} \geq R_{\Sigma_{\text{пр}}}$ ,  $\Delta t_{\text{пр}} \leq 4^\circ \text{С}$ ,  $\tau_{\text{в min}} > 12^\circ \text{С}$ .

Відстань між несучими профілями приймалася рівною 600 мм із конструктивних умов. Конструкцію стіни наведено на рисунку 1, опоряджувальні шари конструкції до розрахунку температурних полів не приймалися. Необхідна товщина утеплювача визначалася без урахування впливу теплопровідних включень у вигляді сталевих профілів, тобто  $R_{\Sigma} = R_{\Sigma_{\text{пр}}} = 2,92 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт} \geq R_{q_{\min}}$ . Товщина утеплювача, а отже, і висота стінки профілю приймалася рівною 140 мм при фактичному опорі теплопередачі  $R_{\Sigma} = 2,92 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$ .

1. Плита OSB 10,  $\lambda_{Б1}=0,18 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$
2. Утеплювач мін-ватний 140,  $\lambda_{Б2}=0,054 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$
3. Профіль сталевий  $\lambda_{Б3}=58 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$
4. Листи гіпсокартонні 25,  $\lambda_{Б4}=0,21 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$

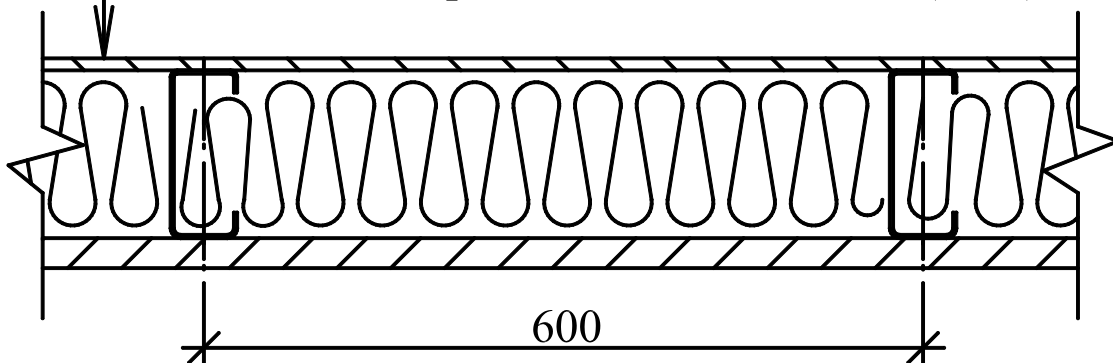


Рисунок 1 – Переріз та склад досліджуваної конструкції

На першому етапі досліджувався вплив ступеня накладання рядів просічок на приведений коефіцієнт теплопровідності ЛСТ-профіль. Кількість рядів просічок приймалася рівною десяти. Варіанти перфорації наведені в таблиці 1.

Виконувалося моделювання стінки профілю висотою 140 мм та визначалися характеристики процесу теплопередачі елемента – приведені температури внутрішньої та зовнішньої поверхонь і кількість теплоти, що проходить через переріз при заданих температурах за одиницю часу. Величину останнього параметра для стаціонарного процесу теплопередачі у двовимірному полі можна визначити за формулою

$$Q = (t_{\text{вп}} - t_{\text{зп}}) \frac{\lambda_{\text{Б3пр}}}{\delta} \cdot L, \quad (1)$$

де  $t_{\text{вп}}$ ,  $t_{\text{зп}}$  – середня температура відповідно внутрішньої та зовнішньої поверхонь стінки профілю, °C;

$\lambda_{\text{Б3пр}}$  – приведений коефіцієнт теплопровідності стінки профілю, Вт/(м·К);

$\delta$  – товщина стінки профілю, приймалася рівною 0,14 м, що відповідає прийнятій мінімальній товщині утеплювача;

$L$  – довжина ділянки, через яку проходить тепловий потік, м.

Тобто приведений коефіцієнт теплопровідності стінки ЛСТ-профілю визначався як

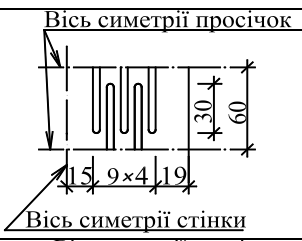
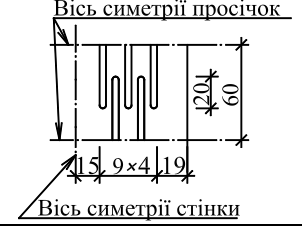

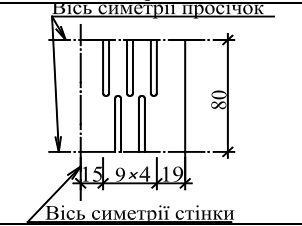
$$\lambda_{\text{Б3пр}} = \frac{Q \cdot \delta}{(t_{\text{вп}} - t_{\text{зп}}) \cdot L}. \quad (2)$$

Результати розрахунків приведенного коефіцієнта теплопровідності стінки елементів залежно від схеми перфорації наведено в таблиці 1.

Очевидно, що застосування перфорації стінки сталевого профілю веде до значного зниження його коефіцієнта теплопровідності (до 22,6 разу відносно неперфорованого елемента). Зниження коефіцієнта теплопровідності відбувається зі збільшенням величини взаємного накладання рядів прорізів.

На другому етапі дослідження визначався вплив кількості рядів просічок на приведений коефіцієнт теплопровідності стінки профілю. При цьому вибрано найбільш ефективну схему перфорації – за номером 1, згідно з результатами початкового етапу дослідження. Досліджувались елементи із 10, 8, 6, 4 та 2 рядами перфорації. Приведений коефіцієнт теплопровідності елемента визначався за формулою (2). Результати моделювання стінки профілю для різних розрахункових випадків наведено в таблиці 2.

**Таблиця 1 – Приведені коефіцієнти теплопровідності стінки ЛСТ-профілю при різних схемах перфорації**

Схема перфорації	Ступінь накладання просічок по довжині	Приведений коефіцієнт теплопровідності $\lambda_{БЗпр}$ , Вт/(м·К)	
	3/8	2,567	
	2/8	2,966	
	1/8	3,915	
	0/8	7,295	
5	-	без прорізів	58

**Таблиця 2 – Приведений коефіцієнт теплопровідності стінки ЛСТ-профілю при різній кількості рядів перфорації**

Кількість рядів перфорації	Приведений коефіцієнт теплопровідності $\lambda_{БЗпр}$ , Вт/(м·К)
10	2,567
8	3,291
6	4,596
4	7,611
2	25,584
0	58

Збільшення кількості рядів перфорації призводить до зменшення приведенного коефіцієнта теплопровідності стінки профілю. З характеру одержаних результатів можна зробити висновок, що, наприклад, уже тільки поява перфорації стінки даватиме значно більший ефект, ніж введення додаткових рядів просічок у стінку зі значним ступенем перфорації.

Очевидно, що подальше збільшення кількості рядів перфорації не призведе до суттєвого зменшення приведенного коефіцієнта теплопровідності та водночас викликатиме ослаблення несучої здатності перерізу профілю.

На третьому етапі досліджувався вплив товщини стінки профілю на експлуатаційні теплофізичні характеристики зовнішнього стінового огородження – опір

теплопередачі, приведено та мінімальну локальну температуру внутрішньої поверхні стіни. До розрахунку приймалися конструкції на основі профілів висотою стінки 140 мм товщиною 0,7; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 мм, із десятирядною перфорацією за схемою №1 та без перфорації.

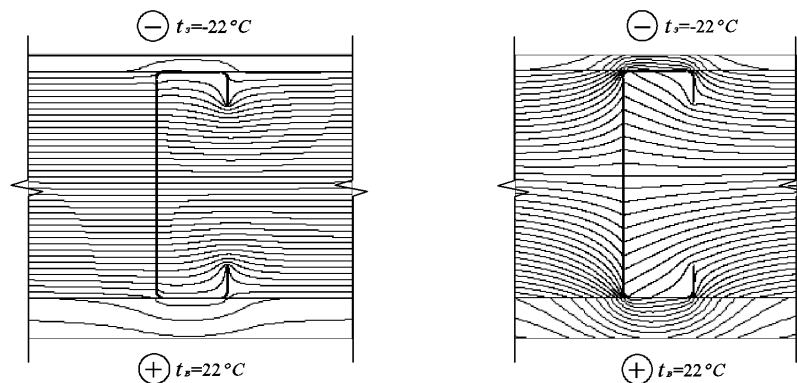
Урахування впливу перфорації на теплофізичні характеристики стінки профілю відбувалося шляхом розділення перерізу на частини з різними коефіцієнтами теплопровідності – суцільнометалеві частини (полочки, відгини й кутові ділянки) та стінку. Результати моделювання наведено в таблиці 3.

Згідно з отриманими результатами, врахування впливу теплопровідних включень суттєво знижує опір теплопередачі конструкції, особливо при застосуванні профілів без перфорації. Але при застосуванні перфорованих профілів мінімальної товщини, що можливо, наприклад, для навісних огорожувальних конструкцій, приведений опір теплопередачі таких конструкцій наближається до нормативного.

**Таблиця 3 – Приведений коефіцієнт теплопровідності стінки ЛСТ-профілю при різній кількості рядів перфорації**

Товщина профілю, мм	Приведений опір теплопередачі стіни, $R_{\Sigma пр}$ , $m^2 \cdot K / Bt$	$R_{\Sigma пр} - R_{\Sigma}$ $m^2 \cdot K / Bt$	Температурний перепад $\Delta t_{пр}$ , °C (при $t_{вн} = 22^\circ C$ )	Мінімальна температура внутрішньої поверхні $\tau_{в min}$ , °C
без профілів	$R_{\Sigma пр1} = R_{\Sigma} = 2,92$	0	3,7	18,4
Стіни з перфорованими профілями				
0,7 (рис. 2, а)	2,76	0,16	3,8	18,3
1,0	2,72	0,20	3,8	18,2
1,5	2,64	0,28	3,8	18,2
2,0	2,58	0,34	3,9	18,1
2,5	2,52	0,40	3,9	18,1
3,0	2,47	0,45	4,0	18,0
Стіни з профілями без перфорації				
0,7 (рис. 2, б)	1,95	0,97	4,5	17,5
1,0	1,84	1,08	4,6	17,4
1,5	1,74	1,18	4,8	17,2
2,0	1,67	1,25	4,9	17,1
2,5	1,63	1,29	5,0	17,0
3,0	1,60	1,32	5,0	17,0

Наступний етап досліджень було проведено для визначення приведенного термічного опору додаткового шару утеплення. Розглядалися конструкції на основі профілів одного виробника [7] висотою 20, 32 та 55 мм із товщиною 0,7 мм. Розрахункова схема додаткового шару наведена на рисунку 3.



*Рисунок 2 – Температурні поля (ізотерми через 1°C) та напрям теплових потоків для стіни з найбільш ефективним типом профілів (а) та із профілями без перфорації (б, див. табл. 3)*

Згідно з отриманими даними, приведені термічні опори  $R_{\Sigma пр}$  додаткових шарів із товщиною 20, 32 та 55 мм становили відповідно 0,31; 0,42 та 0,61  $m^2 \cdot K / Вт$ , із чого можна зробити висновок, що застосування додаткового шару утеплення може підвищувати значення приведеного опору теплопередачі огорожувальної конструкції на основі термопрофілів до нормованого [5] рівня.

Стіни з каркасом із неперфорованих сталевих профілів та додатковим утеплювальним шаром можна застосовувати при термомодернізації з урахуванням результатів аналізу температурно-вологісного режиму конструкції.

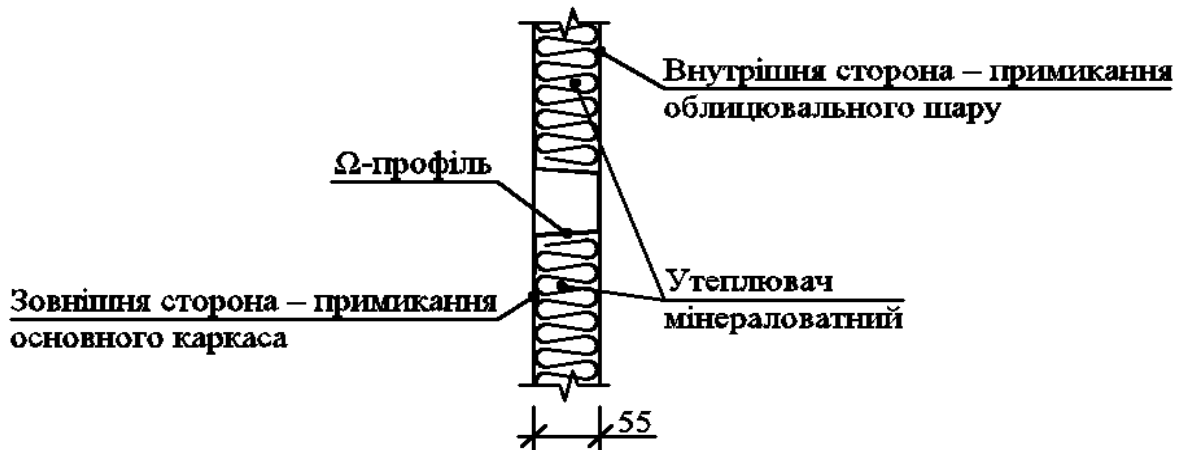


Рисунок 3 – Додатковий шар утеплення з висотою профілю 55 мм

**Загальні висновки та перспективи подальших досліджень.** За результатами проведених досліджень можна зробити такі висновки:

- застосування каркаса зі сталевих профілів може значно (до 2,2 разу) знижувати теплоізоляційну спроможність зовнішніх стін. Вирішальним фактором при цьому є саме приведений опір теплопередачі, при забезпеченні необхідного рівня якого інші вимоги [5] до стіни (за приведеною температурою внутрішньої поверхні та температурою внутрішньої поверхні в місцях теплопровідних включень) виконуватимуться;

- виконання перфорації стінки ЛСТ-профілів значно поліпшує теплоізоляційні властивості як самих профілів (підвищення термічного опору до 22,6 разу), так і конструкцій, до складу яких вони входять (близько 1,5 разу поліпшення приведенного опору теплопередачі конструкції);

- додатковий внутрішній шар утеплювача може успішно застосовуватися для поліпшення теплофізичних характеристик огорожень та приведення їх до нормативних;

- усі розглянуті варіанти конструкції зовнішніх стін, за необхідності – з використанням відповідних додаткових конструктивних заходів, придатні до використання при термомодернізації цивільних будинків;

- збільшення кількості рядів перфорації стінки профілів при початковій кількості більше 8–10 не даватиме значного поліпшення теплофізичних характеристик термопрофілів;

- збільшення величини напуску рядів перфорації призводить до збільшення термічного опору профілів.

Дане дослідження показує, що такий спосіб підвищення теплоізоляційних якостей сталевих профілів, як перфорація стінки, є перспективним, хоча і потребує значного обсягу подальших досліджень. Зокрема, зважаючи на технологічний процес виконання перфорації, доцільним є здійснення розрахунку тривимірних температурних полів.

#### Література

1. Hoglund, T. Slotted steel studs to reduce thermal bridges in insulated walls / T. Hoglund, H. Burstrand // *Thin-Walled structures*. – 1998. – №32. – P. 81 – 109.



2. Деркач, В. М. Об энергоэффективности наружного стенового ограждения каркасных зданий / В. М. Деркач, А. Я. Найчук // *Архитектура и строительство*. – 2011. – №1. – С. 39–43.
3. Журина, Н. Энергоэффективные легкие ограждающие конструкции / Н. Журина, Р. Кузьмичев // *Архитектура и строительство*. – 2008. – №2. – С. 93–97.
4. Пашков, А. Новые направления применения металлических конструкций для надстройки существующих зданий / А. Пашков, В. Дзизин, Р. Кузьмичев // *Архитектура и строительство*. – 2005. – №1. – С. 115–118.
5. ДБН В.2.6-31:2006. Теплова ізоляція будівель. – К. : Мінбуд України, 2006. – 70 с.
6. Руководство по теплотехническому расчету и проектированию ограждающих конструкций зданий. – М. : НИИСФ Госстроя СССР, 1985. – 141 с.
7. *Blachy Pruszyński. Katalog produkcji*. – 2011. – 16 с.

Надійшла до редакції 11.04. 2011

© В.В. Чернявський, В.О. Семко, О.І. Юрін, Д.А. Прохоренко

## ВЛИЯНИЕ ПЕРФОРАЦИИ ЛЕГКИХ СТАЛЬНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ ПРОФИЛЕЙ НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

*В работе исследованы теплоизоляционная способность внешних стен гражданских зданий на основе каркаса из стальных профилей и зависимость теплофизических характеристик термопрофилей от типа перфорации.*

**Ключевые слова:** легкие стальные тонкостенные конструкции, теплоизоляция, стена, термопрофиль.

## THE INFLUENCE OF LIGHT GAUGE STEEL CONSTRUCTIONS PERFORATION TYPE ON ITS THERMAL CHARACTERISTICS

*In the paper some heat insulation properties of steel stud outwalls of civilian buildings and dependence of slotted steel wall studs thermal characteristics on perforation type are investigated.*

**Key words:** light gauge steel constructions, heat insulation, wall, perforated sections.