

УДК 697.12.14:693.814.1

МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СТІНОВИХ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ ЛСТК ТА ПОЛІСТИРОЛБЕТОНУ

СЕМКО В. О. ¹, *к.т.н., с.н.с., докторант*,
АВРАМЕНКО Ю. О. ², *к.т.н.*,
ЛЕЩЕНКО М. В. ^{3*}, *аспірантка*.

¹ Кафедра конструкцій із металу, дерева та пластмас, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Першотравневий проспект, 24, 36011, Полтава, Україна.

² Кафедра архітектури та міського будівництва, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Першотравневий проспект, 24, 36011, Полтава, Україна.

^{3*} Кафедра архітектури та міського будівництва, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Першотравневий проспект, 24, 36011, Полтава, Україна, тел. +38 (066) 932-17-82, e-mail: leshchenko-m@mail.ru.

Анотація. *Мета.* Розроблення рекомендацій щодо використання легких бетонів в сумісній роботі з ЛСТК є актуальною науково-технічною проблемою. В Україні комбіновані конструкції застосовуються досить рідко, що викликано практично відсутністю нормативної бази для розрахунків і проектування такого виду конструкцій. Але в деяких випадках тільки застосування конструкцій цього типу дозволяє отримати оптимальне рішення за вимогами теплопровідності, несучої здатності, вогнестійкості, максимальної корисної площі та свободи укладання інженерних комунікацій. В огороджувальних конструкціях на основі легких сталевих тонкостінних профілів, при дослідженні теплових характеристик, в місцях теплопровідних включень виникають значні теплові втрати, так звані «містки холоду». Основною умовою даного дослідження є розроблення конструктивного рішення стінової огороджувальної конструкції таким чином, щоб мінімізувати тепловтрати даної конструкції, при цьому підвищити її енергоефективність, а також дослідити температурні коливання в середині та на поверхні стінових конструкцій. *Методика.* Дослідження експериментальних зразків проводилося в лабораторних умовах, а також вони були змодельовані у програмному комплексі, після чого були отримані значення теплотехнічних характеристик. Запропонований метод підвищення енергоефективності стінових конструкцій із ЛСТК та полістиролбетону не потребує додаткових затрат, а є виключно конструктивним. *Результати.* Встановлено, що наявність теплоізоляційного шару полістиролбетону на несучому профілі в огороджувальній конструкції зменшує величину приведенного опору теплопередачі до 10 %. Отримані результати свідчать, що зміною конструктивних параметрів можливо суттєво впливати на опір теплопровідності огородження. *Наукова новизна.* Стінова огороджувальна конструкція із теплопровідним включенням, яка складається з U-подібних профілів, котрі працюють сумісно з бетонною складовою є енергоефективною, оскільки теплоізоляція сталевого профілю виконується шляхом заповнення полістиролбетоном простору, який утворюється між ним та профнастилом, при цьому висота хвилі профнастилу повинна знаходитися навпроти теплопровідного включення, а сам профнастил виконує роль незнімної опалубки. *Практична значимість.* Запропонований метод дозволить підвищити енергоефективність стінових огороджувальних конструкцій із ЛСТК та полістиролбетону. При будівництві будівель із застосуванням запроєктованих конструкцій даний метод дозволить мінімізувати вплив містка холоду, при цьому збільшивши загальний опір теплопередачі огороджувальних конструкцій та зменшити витрати на опалення будівель.

Ключові слова: стінова огороджувальна конструкція, тонкостінний профіль, полістиролбетон, теплопровідне включення, енергоефективність, теплотехнічні показники

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СТЕНОВЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ЛСТК И ПОЛИСТИРОЛБЕТОНА

СЕМКО В. А. ¹, *к.т.н., с.н.с., докторант*,
АВРАМЕНКО Ю. А. ², *к.т.н.*,
ЛЕЩЕНКО М. В. ^{3*}, *аспирантка*.

¹ Кафедра конструкций из металла, дерева и пластмасс, Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, Первомайский проспект, 24, 36011, Полтава, Украина.

² Кафедра архитектуры и городского строительства, Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, Первомайский проспект, 24, 36011, Полтава, Украина.

^{3*} Кафедра архитектуры и городского строительства, Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, Первомайский проспект, 24, 36011, Полтава, Украина, тел. +38 (066) 932-17-82, e-mail: leshchenko-m@mail.ru.

Аннотация. *Цель.* Разработка рекомендаций по использованию легких бетонов в совместной работе с ЛСТК является актуальной научно-технической проблемой. В Украине комбинированные конструкции применяются достаточно редко, что вызвано практически отсутствием нормативной базы для расчетов и проектирования такого вида конструкций. Но в некоторых случаях только применение конструкций этого типа позволяет получить оптимальное решение по требованиям теплопроводности, несущей способности, огнестойкости, максимальной полезной площади и свободной укладки инженерных коммуникаций. В ограждающих конструкциях на основе легких стальных тонкостенных профилей, при исследовании тепловых характеристик, в местах теплопроводных включений возникают значительные тепловые потери, так называемые «мостики холода». Основным условием данного исследования является разработка конструктивного решения стеновой ограждающей конструкции таким образом, чтобы минимизировать теплопотери данной конструкции, при этом повысить ее энергоэффективность, а также исследовать температурные колебания в середине и на поверхности стеновых конструкций. *Методика.* Исследование экспериментальных образцов проводилось в лабораторных условиях, а также они были смоделированы в программном комплексе, после чего были получены значения теплотехнических характеристик. Предложенный метод повышения энергоэффективности стеновых конструкций из ЛСТК и полистиролбетона не требует дополнительных затрат, а является исключительно конструктивным. *Результаты.* Установлено, что наличие теплоизоляционного слоя полистиролбетона на несущем профиле в ограждающей конструкции уменьшает величину приведенного сопротивления теплопередаче до 10%. Полученные результаты свидетельствуют, что изменением конструктивных параметров возможно существенно влиять на сопротивление теплопроводности ограждения. *Научная новизна.* Стеновая ограждающая конструкция с теплопроводным включением, которая состоит из U-образных профилей, которые работают совместно с бетонной составляющей является энергоэффективной, поскольку теплоизоляция стального профиля выполняется путем заполнения полистиролбетоном пространства, который образуется между ним и профнастилом, при этом высота волны профнастила должна находиться напротив теплопроводного включения, а сам профнастил выполняет роль несъемной опалубки. *Практическая значимость.* Предложенный метод позволяет повысить энергоэффективность стеновых ограждающих конструкций из ЛСТК и полистиролбетона. При строительстве зданий с применением запроектированных конструкций данный метод позволит минимизировать влияние мостика холода, при этом увеличив общее сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций и уменьшить расходы на отопление зданий.

Ключевые слова: стеновая ограждающая конструкция, тонкостенный профиль, полистиролбетон, теплопроводное включение, энергоэффективность, теплотехнические показатели

THE METHOD OF INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF WALL CONSTRUCTION OF LSTS AND POLYSTYRENE CONCRETE

SEMKO V. O. ¹ *PhD, Senior Researcher, (Tech.),*
 AVRAMENKO Yu. O. ² *PhD, (Tech.),*
 LESHCHENKO M. V. ^{3*} *postgraduate*

¹ Department of Structures from Metal, Wood and Plastics, Poltava National Technical Yuri Kondratiuk University, 24, Pershotravnevyi avenue, Poltava, 36011, Ukraine.

² Department of Architecture and Urban Construction, Poltava National Technical Yuri Kondratiuk University, 24, Pershotravnevyi avenue, Poltava, 36011, Ukraine.

^{3*} Department of Architecture and Urban Construction, Poltava National Technical Yuri Kondratiuk University, 24, Pershotravnevyi avenue, Poltava, 36011, Ukraine, tel. +38 (066) 932-17-82, e-mail: leshchenko-m@mail.ru.

Abstract. Purpose. Working of recommendations about the use of lightweight concrete conjunction with light steel thin-walled structures (LSTS) is an actual scientific and technical problem. In Ukraine, the composite structures are use infrequently, which is cause by the lack of regulatory framework for the calculation and design of structures this type. But some cases only the use of structures of this type allows you to get optimal solution for requirements of thermal conductivity, bearing, fire resistance, maximum usable space and the free installation engineering communications. Enclosing structures based on light thin walled steel profiles tested for thermal performance, results showed that in the field of thermally conductive inclusions there are considerable thermal losses, so-called "cold bridge". The main objective of this research is to develop design solution the wall-building envelope to minimize the heat loss of this structure, thus increasing its energy efficiency, and to investigate temperature variations in the cross section and on the surface of the wall construction. *Methodology.* Research test specimens were conduct in the laboratory, and were model in the program complex, and then values were obtain thermal characteristics. Increasing energy efficiency of wall building envelope of LSTS and polystyrene concrete does not require additional expenses and is exceptionally constructive method. *Findings.* It has been establish that the presence polystyrene concrete thermal insulation layer to bearing rod in the building envelope reduces value the thermal resistance R-value to 10%. The results indicate that the change in design parameters may significantly affect to resistance of the thermal resistance to building envelope. *Originality.* Wall building envelope has thermal conductivity inclusion and it is energy-efficient. It consists of U-shaped sections, which work together with a concrete component, insulation steel section performed by filling polystyrene concrete space formed between him and profiled floorings, with the wave height of profiled floorings should be

opposite thermal conductivity inclusions, and he serves as a corrugated permanent shuttering. *Practical value.* Proposed method allows increasing the energy efficiency of wall building envelope of LSTS and polystyrene concrete. During the building of buildings with the use of the designed constructions, this method will minimize the effect of cold bridge, thus increasing the total R-value and reduce costs for heating buildings.

Keywords: wall building envelope, thin-walled section, polystyrene concrete, thermal conductivity inclusion, energy efficiency, thermal performance

Постановка проблеми в загальному вигляді

Розвиток технологій каркасного домобудівництва призвело до виникнення інноваційного напрямку в будівництві – металокаркасного будівництва на базі спеціальних легких сталевих тонкостінних конструкцій (ЛСТК). На сьогоднішній день будівництво з ЛСТК є досить поширеним як на території нашої країни, так і за її межами. Для огорожувальних конструкцій з елементів даного типу застосовуються різні види утеплювачів, найпоширенішим з яких є мінеральна, базальтова вата та пінополістирол. Але особливої актуальності набув пошук нових підходів до вирішення проблеми теплотехнічного захисту будівель, тому широкого використання набув ще один ефективний теплоізоляційний матеріал для стінових огорожувальних конструкцій – полістиролбетон.

В Україні комбіновані конструкції застосовуються досить рідко, що викликано практично відсутністю нормативної бази для розрахунків і проектування такого виду конструкцій. Але в деяких випадках тільки застосування цього типу конструкцій дозволяє отримати оптимальне рішення за вимогами теплопровідності, несучої здатності, вогнестійкості, максимальної корисної площі та свободи укладання інженерних комунікацій.

Отже розроблення рекомендацій щодо використання легких бетонів в сумісній роботі з ЛСТК є актуальною науково-технічною проблемою.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій

В Україні теплові властивості сталевих тонкостінних профілів в складі огорожувальних конструкцій майже не досліджені [5, 7]. Але вивченням цих питань займалися такі науковці, як Ватін Н. І., Попова Є. Н. [2], Журина Н., Кузьмичев Р [8], Фаренюк Г. Г [10], Чернявський В. В [12]. Дослідженню енергоефективності легких каркасних будівель присвячені роботи Santos P. [14].

Полістиролбетон як теплоізоляційний матеріал розглядався в працях Філіппова В. П., Белякова В. А. [11], Vogdt F. [15], Clarke J. L. [13].

Виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми

Початок дослідженням сумісної роботи легких бетонів у складі ЛСТК поклали Семко О. В. та Авраменко Ю. О. [1, 9]. При цьому було виявлено, що полістиролбетон при сумісній дії з легким

сталевим тонкостінним каркасом підвищує несучу здатність конструкції в 4-7 разів. Проте така конструкція є комплексною і питання вибору теплоізоляційних легких бетонів для стінових огорожувальних конструкцій залишається відкритим і потребує ґрунтовних експериментально-теоретичних досліджень.

Мета

Метою статті є розробити та запроєктувати енергоефективну стінову конструкцію на основі ЛСТ-профілів та полістиролбетону, а також провести експериментальне та чисельне дослідження теплотехнічних показників конструкцій такого типу.

Основний матеріал та результати

В огорожувальних конструкціях на основі легких сталевих тонкостінних профілів, при дослідженні теплових характеристик, в місцях теплопровідних включень виникають значні теплові втрати, так звані «містки холоду». Отже, основною умовою даного дослідження було розробити конструктивне рішення огорожувальної конструкції на основі сталевих профілів таким чином, щоб мінімізувати тепловтрати даної конструкції, а також дослідити температурні коливання в середині та на поверхні огорожувальної конструкції. Такий метод підвищення енергоефективності стінових конструкцій із ЛСТК та полістиролбетону не потребує додаткових затрат, а є виключно конструктивним.

Для лабораторних досліджень було виготовлено експериментальний зразок з теплопровідним включенням (рис. 1) та термічно однорідний – еталонний зразок (рис. 2), розміри яких 800x850 мм.

Розмір експериментальних зразків обґрунтовувався та регламентувався відповідно до відсіку експериментальної установки – кліматичної камери, яка має розміри 850x900 мм.

Вони представляють собою стінові панелі огорожувальних конструкцій, які сконструйовані із U-подібних сталевих тонкостінних профілів, що з'єднуються між собою за допомогою саморізів, внаслідок чого забезпечується цілісність конструкцій. Каркаси даних стінових панелей заповнюються полістиролбетоном, який виконує функцію утеплювача. Жорсткість, міцність та несучу здатність одній панелі забезпечує вертикальна стійка – це сталевий тонкостінний профіль С-подібного перерізу, який є теплопровідним включенням даної

огороджувальної конструкції (рис. 1). Друга стінова панель – однорідна огороджувальна конструкція (рис. 2).

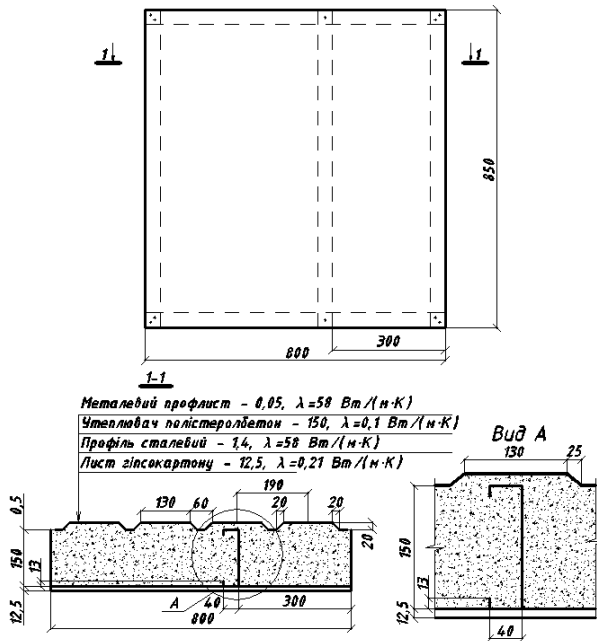


Рис. 1. Конструктивна схема стінової панелі з теплопровідним включенням /

The construction scheme of wall panel with thermal conductivity inclusion

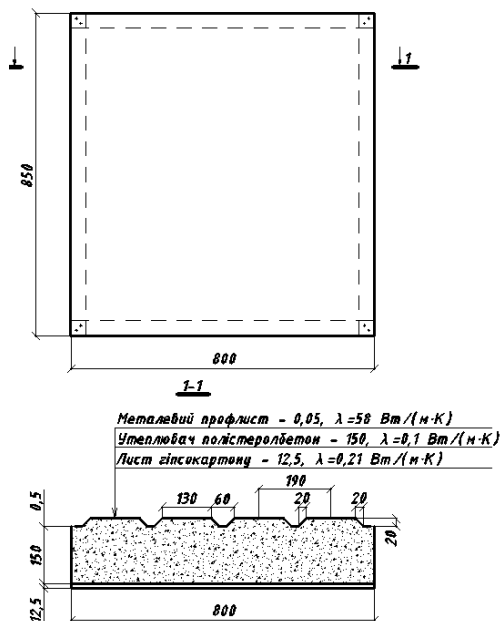


Рис. 2. Конструктивна схема термічно однорідної стінової панелі /

The construction scheme of wall panel with thermal uniformity

Із зовнішньої сторони панелі обшиті сталевим профнастилом, який разом із каркасом профілів утворюють незнімну опалубку для конструкцій. Лист повинен розташовуватися таким чином, щоб висота

хвилі знаходилася навпроти теплопровідного включення. Простір, який утворюється між профілем та настилом, заповнюється полістиролбетоном і слугує як термопрокладка.

Полістиролбетон відноситься до легких бетонів, які мають ряд істотних відмінностей порівняно з іншими видами бетонів. До їх переваг відносять можливість варіювання в широких межах міцності та щільності, внаслідок чого вони можуть бути як теплоізоляційним, так і конструкційним матеріалом, що підтверджено попередніми дослідженнями [1, 9]. В останні роки все ширше й успішніше застосовуються легкі бетони для створення комбінованих огороджувальних конструкцій каркасних будинків різної поверховості, утеплення фасадів, теплоізоляції покрівель, перекриття і т. п.

Посилаючись на відповідні джерела [3, 9] для експериментальних досліджень було запроєктовано полістиролбетон щільністю 200 кг/м³. В рамках експерименту для визначення фізико-механічних властивостей складу бетону, одночасно з основними зразками було виготовлено та досліджено стандартні бетонні кубики (100x100x100 мм); та для визначення коефіцієнту теплопровідності було виготовлено пластини (150x150x25 мм) згідно з інструкцією з експлуатації до приладу ИТС-1 Вимірювач теплопровідності. Фактичні отримані значення показали, що щільність полістиролбетону становить 330 кг/м³, а коефіцієнт теплопровідності – 0,099 Вт/(м·К).

Після того як експериментальні зразки були виготовлені, вони досліджувалися у кліматичній камері (рис. 3) згідно ДСТУ Б В.2.6-101:2010 [6] методом теплових випробувань у лабораторних умовах.



Рис. 3. Загальний вигляд експериментальної установки /

General view of the experimental setup

Герметичність експериментального зразка з установкою забезпечувалась за допомогою монтажною піни. Для визначення теплових показників використовувалися тепломіри, термомари та прилад Вимірювач теплофізичних величин «Теплограф». Він призначений для вимірювання та реєстрації теплових

потоків через огорожувальні конструкції будівельних об'єктів, промислового (теплоенергетичного) обладнання, температури огорожувальних конструкцій і температури оточуючих їх середовищ, в тому числі з метою кількісної оцінки ефективності їх теплового захисту.

Принцип роботи Теплографа полягає в перетворенні щільності теплових потоків в електричний сигнал напруги за допомогою датчиків теплових потоків (ДТП), перетворенні температури в опір за допомогою платинових термоперетворювачів (датчиків) опору (ПДТ) або безпосередньо в цифровий код за допомогою цифрових датчиків температури (ЦДТ), вимірі сигналів напруги та опору і перетворенні їх у цифровий код, надалі перетворенні коду в поіменовані величини, відповідно до номінальними статичними характеристиками, зберіганні та відображенні масивів вимірювальної інформації та передачі даних в зовнішні пристрої.

Термопары та ЦДТ розташовувалися на внутрішній поверхні огорожувальних конструкцій, тобто на гіпсокартоні, в середині утеплювача, у місцях теплопровідних включень та на зовнішній поверхні огорожувальної конструкції – на поверхні полістиролбетону. Тепломіри та ДТП розташовувалися з внутрішньої сторони експериментальних зразків (рис. 4, рис. 5).

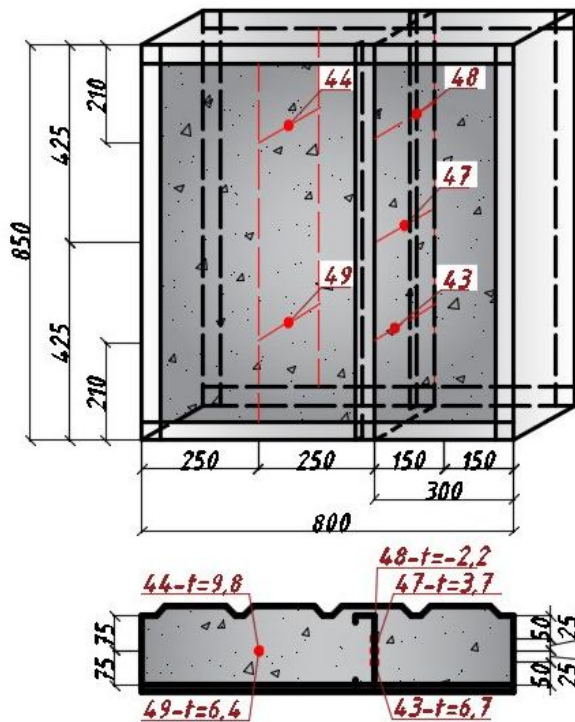


Рис. 4. Схема розміщення термопар для зразка з теплопровідним включенням (43-48 – № термопар) /
The layout of thermocouples for specimen with thermal conductivity inclusion (43-48 – № thermocouples)

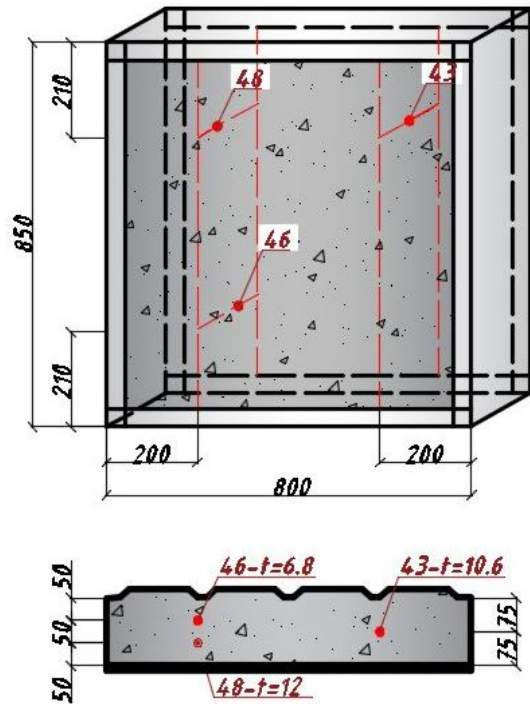


Рис. 6. Схема розміщення термопар для еталонного зразка (43-48 – № термопар) /
The layout of thermocouples for reference specimen (43-48 – № thermocouples)

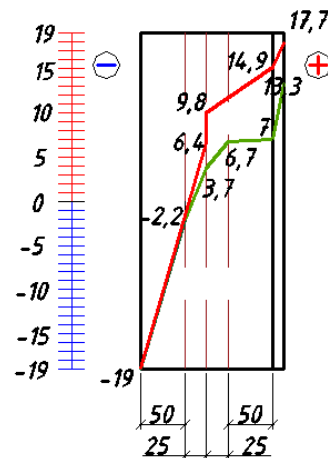


Рис. 5. Розподіл температур в перерізі огорожувальної конструкції з теплопровідним включенням (зеленим кольором вказана температура в місці розташування металевго профіля) /

The temperature distribution in the cross section enclosing structure with thermal conductive inclusion (green indicated temperature at the location of metal profile)

Температура зовнішнього повітря (в середині камери) становила від -20°C до -22°C , температура внутрішнього повітря коливалася в межах від $+19^{\circ}\text{C}$ до $+21^{\circ}\text{C}$, відповідно температурі приміщення. Показники приладів знімалися після того, як установка входила у стаціонарний режим.

Розподіли температур в середині огорожувальних конструкцій було зображено на рис. 6 та рис. 7.

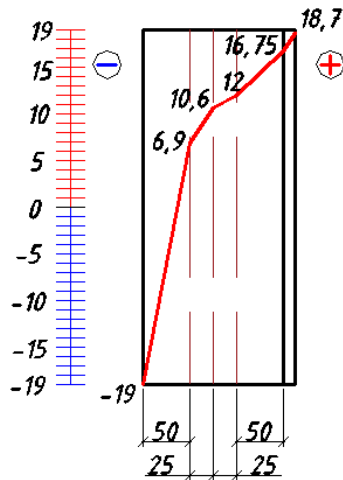


Рис. 7. Розподіл температур в перерізі еталонного зразка /

Distribution of temperatures in the cross section reference specimen

Фактичне значення щільності теплового потоку на термічно однорідних поверхнях обох конструкцій становить в середньому 23 Вт/м^2 , при цьому в місці теплопровідного включення – збільшується вдвічі.

Різниця температур на внутрішній поверхні експериментальних зразків між термічно однорідними ділянками та з теплопровідним включенням в середньому складає $4,5^\circ\text{C}$.

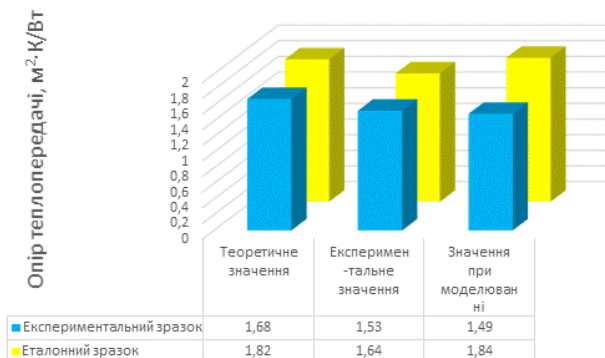


Рис.8. Порівняння значень опору теплопередачі в експериментальних зразках /

Comparison of thermal resistance in the experimental samples

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Авраменко Ю.О. Місцева стійкість сталевих елементів сталезалізобетонних конструкцій. – Автореф. дис. – канд. техн. наук. – Полтава: ПолтНТУ, 2012. – 22 с.
Avramenko Yu.O. Mistseva stiykist stalevyh elementiv stalezalizobetonnyh konstruktsiy [Local Stability of Steel

Elements of Composite Steel and Concrete Structures]. Poltava, 2012. 22 p.

Після проведення лабораторних випробувань експериментальні зразки були також змодельовані у програмному комплексі, після чого були отримані значення теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій.

Наукова новизна і практична значимість

Результати проведених досліджень та розрахунків дозволили отримати значення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій, які зведені в загальний графік (рис. 8).

Стінова огорожувальна конструкція із теплопровідним включенням, яка складається з U-подібних профілів, котрі працюють сумісно з бетонною складовою є енергоефективною, оскільки теплоізоляція сталевого профілю виконується шляхом заповнення полістиролбетоном простору, який утворюється між ним та профнастилом, при цьому висота хвилі профнастилу повинна знаходитися навпроти теплопровідного включення, а сам профнастил виконує роль незмінної опалубки.

При будівництві будівель із застосуванням таких конструкцій це дозволить мінімізувати вплив містка холоду, при цьому збільшивши загальний опір теплопередачі огорожувальних конструкцій та зменшити витрати на опалення будівель.

Висновки

1. В ході проведених досліджень встановлено, що наявність теплоізоляційного шару полістиролбетону на несучому профілі в огорожувальній конструкції зменшує величину приведенного опору теплопередачі до 10 %.

2. Запропонований метод підвищення енергоефективності стінових конструкцій із ЛСТК та полістиролбетону не потребує додаткових затрат, а є виключно конструктивним.

3. Отримані результати свідчать, що зміною конструктивних параметрів можливо суттєво впливати на опір теплопровідності огороження.

4. Проведений порівняльний аналіз значень опору теплопередачі теоретичних розрахунків, результатів власного експерименту та даних при моделюванні показав добру збіжність результатів у межах 15 %.

210

3. ГОСТ Р 51263-99. Полистиролбетон. Технические условия. – М.: – Госстрой России, 1999. – 10 с.

GOST R 51263-99. Polistirolobeton. Tehnicheskie uslovia. [Concrete with polystyrene aggregates. Specifications]. Moscow, Gosstroy of Russia Publ., 2012. 27 p. http://psbblock.ru/UPLOAD/2014/05/19/GOST_R_51263-2012.pdf

4. ДБН В.2.6-31:2006 Теплова ізоляція будівель. (Зі зміною №1, 2013 р.) – К.: Мінбуд, України, 2006. – 73 с.

DBN V. 2.6-31:2006 Teplova izoliatsia budivel: Zmina 1 [Thermal insulation of buildings: State Construction Norms]. Kyiv, Ministry of Construction of Ukraine Publ., 2006. 73 p. http://eurobud.ua/uploads/files/pinoplast_norm_doc/4%20DBN%20B.2.6-31-2006.pdf http://niisk.com/files/teplova_izoljacija_budivel_ost_19_04_2013.pdf

5. Державний стандарт України ДСТУ Б В.2.6-101:2010 Методи визначення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій. – К.: Мінбуд, України, 2010. – 84 с.

DSTU B V.2.6-101:2010 Metody vyznachennia oporu teploperedachi ogorodzuvalnyh konstruksiy [Methods for determining the resistance to heat transfer of building envelopes]. Kyiv, Ministry of Construction of Ukraine Publ., 2010. 84 p.

http://dbn.at.ua/dstu_b_v_2_6_101

6. Державний стандарт України ДСТУ-Н Б В.2.6-87:2009. Конструкції будинків і споруд. Настанова з проектування конструкцій будинків із застосуванням сталевих тонкостінних профілів. – К.: – Мінрегіонбуд України, 2010. – 55 с.

DSTU-N B V. 2.6-87:2009. Konstruksii budynkiv i sporud. Nastanova z proektuvannia konstruksiy budynkiv iz zastosuvanniam stalevyh tonkostinnyh profiliv [State Standard 2.6-87:2009. Construction of buildings and structures. Manual for designing building structures using thin-walled steel profiles]. Kyiv, Ministry of Regional Construction of Ukraine Publ., 2010. 55 p.

<http://dbn.at.ua/load/normativy/dstu/5-1-0-1002>

7. Журина Н. Энергоэффективные легкие ограждающие конструкции / Н. Журина, Р. Кузьмичев // Архитектура и строительство. – 2008. - №2. – С. 93-97.

Zhurina N., Kuzmichev R. Energoeffektivnye legkie ograzhdaiushchie konstruksii [Energy-efficient light enclosing structures] // Architecture and Construction. Issue №2. – 2008. – pp. 93-97.

<http://ais.by/story/1401>

8. Семко О.В. Легкий бетон для заполнения порожнин стальных тонкостенных конструкций / О.В. Семко, Д.М. Лазарев, Ю.О. Авраменко // 36. наук. пр. ДП НДІБК. – Вып.74. – К., 2011. – С. 659–666.

Semko O.V., Lazarev D.M., Avramenko Yu.O. Lehky beton dlia zapovnennia porozhnyn stalevyh tonkostinnyh konstruksiy [Lightweight concrete to fill the cavities of steel thin-walled structures] // Building, materials sciences, mechanic engineering: Collection of scientific papers Issue №74 – Dnipropetrovs'k, PSAES, 2011. – pp. 659-666.

9. Фаренюк Г.Г. Основи забезпечення енергоефективності будинків та теплової надійності огорожувальних конструкцій / Г.Г. Фаренюк. – К.: Гама-Принт. – 2009. – 216 с.

Farenuk G.G. Osnovy zabezpechennia energoefektyvnosti budynkiv ta teplovoi nadiinosyi ogorodzuvalnyh konstruksiy [Basics energy efficiency of buildings and thermal reliability walling]. Kyiv. Gamma-Print Publ., 2009. 216 p.

<http://www.irbis-nbuv.gov.ua/>

10. Филиппов В.П. Рекомендации по применению полистиролбетона в строительстве / В.П. Филиппов, В.А. Беляков. – Екатеринбург: ОАО «УралНИИАС», 2002. – 23 с.

Filippov V.P., Belyakov V.A. Rekomendatsii po primeneniyu polistirolobetona v stroitelstve [Recommendations for the use of polystyrene concrete in construction]. Ekateriburg, UralNIAS Publ., 2002. 23 p.

11. Чернявський В.В. Вплив перфорації легких сталевих тонкостінних профілів на теплофізичні характеристики огорожувальних конструкцій / В.В. Чернявський, В.О. Семко, О.І. Юрін, Д.А. Прохоренко // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Випуск 1(29). – Полтава: ПолтНТУ. – 2011. – С.194-199.

Cherniavsky V.V., Semko V.O., Yurin O.I., Prokhorenko D.A. Vplyv perforatsii legkyh stalevyh tonkostinnyh profiliv na teplofizychni harakterystyky ogorodzuvalnyh konstruksiy [The influence of light gauge steel constructions perforation type on its thermal characteristics] // Collection of scientific papers (mechanic engineering, building) Issue №1 (29) – Poltava, PNTU, 2011. – pp. 194-199.

http://lib.pntu.edu.ua/?module=ellib*id*7879

12. Clarke J.L. Structural Lightweight Aggregate Concrete. / J.L. Clarke – Taylor & Francis E-Library, 2005. – 128 pp.

Clarke J.L. Structural Lightweight Aggregate Concrete. London, Taylor & Francis E-Library Publ., 2005. 128 p. https://books.google.com.ua/books/about/Structural_Lightweight_Aggregate_Concret.html?id=OscwJCfilvUC&redir_esc=y

13. Santos P. Energy Efficiency of Light-weight Steel-framed Buildings / P. Santos, L. Simões da Silva, V. Ungureanu. – Sustainability & Eco-Efficiency of Steel Construction, №129, 2012. – 175 p.

Santos P., Simões da Silva L., Ungureanu V. Energy Efficiency of Light-weight Steel-framed Buildings. Portugal, 2012. 175 p.

http://www.stalforbund.com/Fagboker/ECCS_P129_table_of_contents.pdf

14. Vogdt F. Conceptual and structural design of building made of lightweight and infra-lightweight concrete. / F. Vogdt, M. Schlaich, B. Hillemeir // Berlin, 2010. – 105 pp.

Vogdt F., Schlaich M., Hillemeir B. Conceptual and structural design of building made of lightweight and infra-lightweight concrete. Berlin, 2010. 105 p.

Стаття рекомендована до публікації д-ром.техн.наук, проф. Ю. Л. Винниковим (Україна); д-ром.техн.наук, с.н.с. О.П. Воскобійник (Україна)

Статья поступила в редколлегию 07.08.2015