

УДК 697.1

**ШОВКАЛЮК М.М.**, к.т.н., доц.

*Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського», м. Київ*

**ЗІМЕНКО С.В.**, магістр

*Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського», м. Київ*

## **СПОСОБИ УТЕПЛЕННЯ НЕСТАНДАРТНИХ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ ТА МЕТОД ЇХ ОЦІНКИ**

*Метою роботи є дослідження способів утеплення конструктивного вузла житлового будинку, їх вплив на тепловий захист конструкції. За результатами дослідження визначено метод підбору та оцінки способу утеплення для нестандартних конструктивних рішень.*

**Ключові слова:** санация; огорождавальні конструкції; теплові потоки; енергозбереження; мікроклімат.

*Целью работы является исследование способов утепления конструктивного узла жилого дома, их влияние на тепловую защиту конструкции. По результатам исследования определен метод подбора и оценки способа утепления для нестандартных конструктивных решений.*

**Ключевые слова:** санация; ограждающие конструкции; тепловые потоки; энергосбережение; микроклимат.

*The purpose of the work is to study the methods of insulation of the construction site of a residential building, their influence on the thermal protection of the structure. According to the results of the research, the method of selection and evaluation of the method of insulation for non-standard constructive solutions is determined.*

**Keywords:** sanitation; fencing structures; heat flows; energy saving; microclimate.

**Вступ та актуальність досліджень.** Зниження енергоспоживання будівельного фонду є важливим напрямом енергетичної політики України. Один із інструментів підвищення енергетичної ефективності будівель – проведення комплексної термомодернізації, що виконується за результатами енергетичного аудиту. В задачі енергоаудитора під час обстеження входить дослідження огорожувальних конструкцій, розрахунок їх теплозахисних властивостей та оцінювання відповідності сучасним вимогам енергоефективності [1]. Проте дуже часто у практиці обстежень з'являються нестандартні випадки конструктивних рішень, що не дозволяють визначити опори теплопередачі огорожень чи вузлів з теплопровідними включеннями розрахунковим методом за допомогою рекомендованих методик [2–4]. Крім того, для конкретних приміщень потрібно перевіряти дотримання умов мікроклімату [5] та рекомендованих температур поверхонь [1], проте часто це неможливо виконати практично. Тому для вирішення подібних задач доцільно використовувати моделювання у спеціалізованих програмних продуктах.

**Мета роботи.** Дослідження теплових потоків та температурних полів огороження з геометричним моделюванням вузла теплового включення; оцінювання дотримання вимог теплового захисту та санітарно-гігієнічних норм щодо температури зовнішньої поверхні конструкції зсередини приміщення; визначення способу утеплення конструкції та методу оцінки отриманих результатів.

**Об'єкт дослідження та опис математичної моделі.** Об'єктом дослідження було обрано житлову дев'ятиповерхову будівлю у м. Києві. Розглядається елемент огорожувальної конструкції: суміщене перекриття останнього поверху, що має конструктивний виступ по поверхні із залізобетону. Характеристика огорожень (рис.1):

- суміщене перекриття: плита залізобетонна пустотіла, товщиною 0,22 м;
- шар утеплювача перекриття – 0,1 м гравій керамзитовий щільністю 600 кг/м<sup>3</sup>, цементно-піщаний розчин, товщиною 0,04 м та покриття з руберойду, товщиною 0,03 м;
- суміщене перекриття має конструктивний виступ по поверхні із залізобетону;
- стіна з червоної цегли, товщиною 0,51 м, утеплювач стіни відсутній.

Будуємо геометрію теплового вузла та визначаємо координати кожної точки для створення сітки.

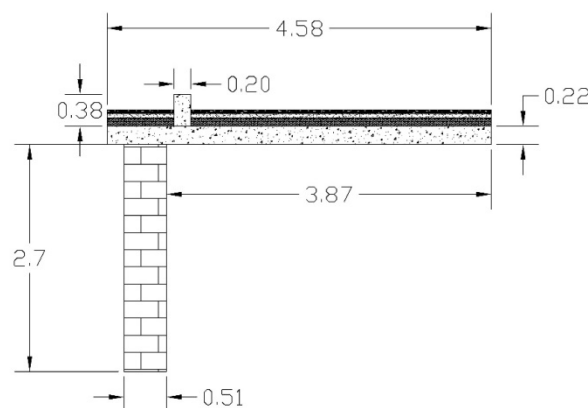


Рис. 1. Розміри вузла, що досліджується

На внутрішній та зовнішній поверхнях задаються граничні умови III роду (умови теплообміну та температури):

- температура всередині приміщення – 20°C [1], зовні – мінус 22°C [6];
- коефіцієнти тепловіддачі на зовнішній поверхні 23 Вт/м<sup>2</sup>К, всередині – 8,7 Вт/м<sup>2</sup>К [2,3].

Модель, що розглядається, описується законом Фур'є:

$$q = -\lambda \cdot \nabla T \quad (1)$$

$q$  – тепловий потік, Вт/м;  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К);  $\nabla$  – градієнт, оператор Гамільтона;  $T$  – температура, К.

Дослідження проводилося у програмі THERM [7], призначеної для моделювання процесів теплообміну. Результати розрахунків будемо порівнювати з нормативними значеннями [1].

Теплофізичні характеристики матеріалів, що обиралися за [2], наведено у табл.

1.

Таблиця 1

### Характеристики конструкційних та утеплюючих матеріалів

| Назва   | Густина<br>кг/м <sup>3</sup> | Теплоємність<br>кДж/(кг·К) | Теплопровідність, Вт/(м·К),<br>в умовах експлуатації |
|---|------------------------------|----------------------------|--|
| Кладка цегляна з повнотілої цегли<br>керамічної звичайної на цементно-<br>перлітовому розчині | 1600                         | 0,88                       | 0,7  |
| Залізобетонна пустотіла плита   | 2500                         | 0,84                       | 2,04   |
| Руберойд, пергамін  | 1000                         | 1,68                       | 0,17   |
| Розчин цементно-піщаний   | 1800                         | 0,84                       | 0,93   |
| Гравій керамзитовий   | 600                          | 0,84                       | 0,2  |
| Мінеральна вата на основі<br>базальтового волокна, марки П-100                                | 100                          | 0,84                       | 0,048  |

Проведемо моделювання початкового стану вузла, тобто за умови, коли конструкції не мають додаткового утеплення. Визначимо основні величини: тепловий потік на внутрішній та зовнішній поверхні, внутрішні температури поверхні та опір теплопередачі (табл.2). Залежність теплового потоку від опору теплопередачі:

$$Q = kF\Delta T = \frac{t_{вн} - t_3}{R} F = \frac{t_{вн} - t_3}{\frac{1}{\alpha_в} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_3}} F \quad (2)$$

де  $\alpha_в$ ,  $\alpha_3$  – коефіцієнт тепловіддачі відповідно на внутрішній та зовнішній поверхні огорожувальної конструкції  $\left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}\right)$ ;  $t_{вн}$ ,  $t_3$  – температура відповідно внутрішнього та зовнішнього повітря, °С;  $\delta_i$  – товщина  $i$ -ого шару огорожувальної конструкції (м);  $\lambda_i$  – коефіцієнт теплопередачі  $i$ -ого шару огорожувальної конструкції  $\left(\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}\right)$ ;  $F$  – площа (м<sup>2</sup>).

На рис. 2 наведено геометрію моделі та температурне поле.

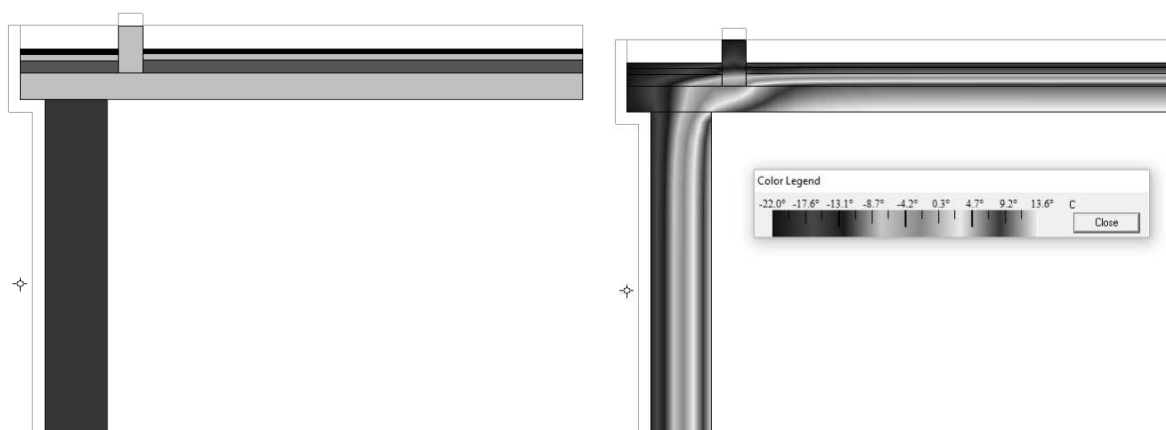


Рис. 2. Моделювання вузла конструкції  
а) геометрія моделі; б) розподіл температур

Таблиця 2

Результати: початковий стан

| Конструкція   | Тепловий потік |                  | R,<br>м²К/Вт | Температура<br>внутр. поверхні, °С | Відповідність<br>нормам |
|---------------|----------------|------------------|--------------|------------------------------------|-------------------------|
|               | зовні,<br>Вт   | зсередини,<br>Вт |              |                                    |                         |
| Стіна         | 133,40         | 129,67           | 0,93         | 11,4                               | не задовольняє          |
| Покриття      | 173,05         | 176,78           | 1,06         | 13,6                               | не задовольняє          |
| <b>Всього</b> | <b>306,45</b>  | <b>306,45</b>    |              |                                    |                         |

Результати розрахунку свідчать про те, що конструкції не відповідають сучасним вимогам у частині теплового захисту та не відповідають санітарно-гігієнічним нормам щодо допустимої різниці між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції. Це означає, що вимоги щодо мікроклімату в даному приміщенні не дотримуються, а на поверхні огороження можлива конденсація водяної пари з повітря, що може призвести до цвітіння стін та утворення грибка, а це, в свою чергу, вкрай негативно впливатиме на здоров'я мешканців будівлі.

**Утеплення конструкції покриття та стіни.** Моделюємо наступну ситуацію: початкову конструкцію утеплюємо шаром мінеральної вати 100 мм для стін та 200 мм для покриття, без утеплення конструктивного виступу даху (що є теплопровідним включенням) Результати розрахунків наведено на рис.3 та у таблиці 3.

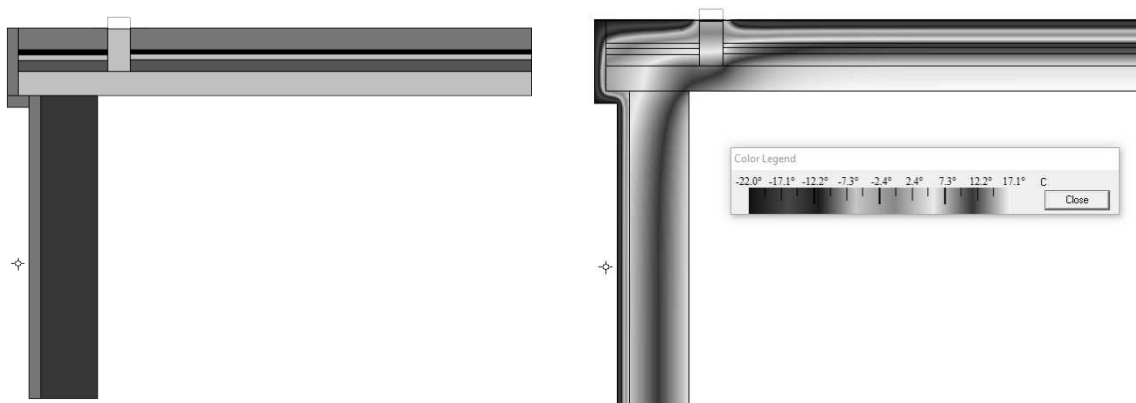


Рис. 3. Моделювання вузла конструкції  
а) геометрія моделі; б) розподіл температур  
після утеплення покриття та стіни

Таблиця 3

Результати: утеплення конструкції покриття та стіни

| Конструкція   | Тепловий потік |                  | R,<br>м²К/Вт | Температура<br>внутр. поверхні,<br>°C | Відповідність<br>нормам |
|---------------|----------------|------------------|--------------|---------------------------------------|-------------------------|
|               | зовні,<br>Вт   | зсередини,<br>Вт |              |                                       |                         |
| Стіна         | 41,73          | 41,12            | 3,17         | 16,2                                  | задовольняє*            |
| Покриття      | 45,93          | 46,54            | 3,90         | 17                                    | не задовольняє          |
| <b>Всього</b> | <b>87,66</b>   | <b>87,66</b>     |              |                                       |                         |

\*Примітка 1: згідно з [1] допускається застосовувати окремі конструктивні елементи теплоізоляційної оболонки із зниженими значеннями опору теплопередачі до рівня 75 % від  $R_{q \min}$  для непрозорих частин зовнішніх стін і до рівня 80 % від  $R_{q \min}$  для інших.

Зазначимо, що утеплення стіни дозволило досягти нормативного значення опору теплопередачі та виконати санітарно-гігієнічні норми. Проте вкладення теплоізоляційного шару на покриття без утеплення конструктивного залізобетонного виступу не дозволило досягнути нормативних показників у частині теплового захисту покриття.

**Додаткове утеплення конструктивного виступу перекриття.** Вдосконалимо попередній варіант утеплення покриття та нанесемо шар утеплювача товщиною 100 мм на конструктивний, таким чином запобігаючи уникненню «містків холоду». Результати розрахунків наведено на рис.4 та у таблиці 4.

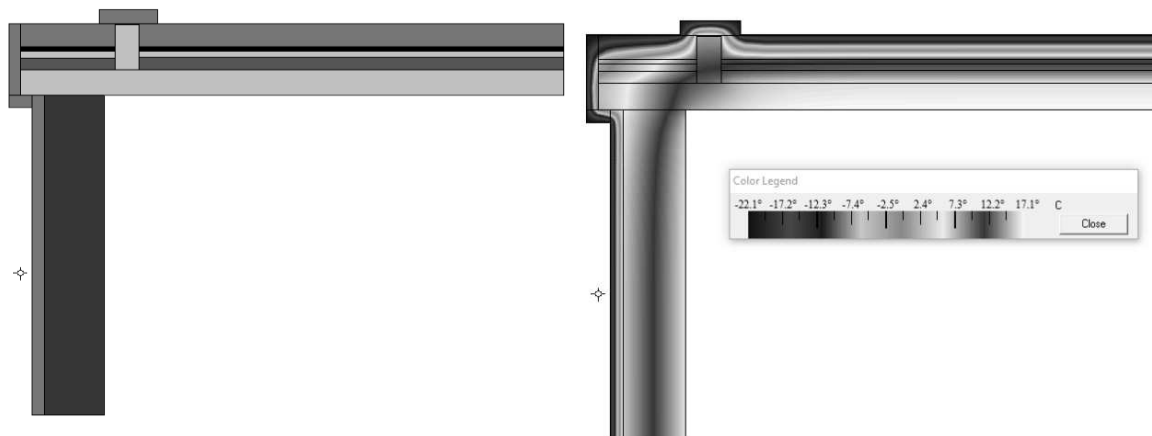


Рис. 4. Моделювання вузла конструкції  
а) геометрія моделі; б) розподіл температур після утеплення  
покриття, стіни та конструктивного виступу

Таблиця 4

Результати: утеплення покриття, стіни та конструктивного виступу

| Конструкція   | Тепловий потік |                  | R,<br>м²К/Вт | Температура внутр.<br>поверхні, °С | Відповідність<br>нормам |
|---------------|----------------|------------------|--------------|------------------------------------|-------------------------|
|               | зовні,<br>Вт   | зсередини,<br>Вт |              |                                    |                         |
| Стіна         | 42,27          | 39,51            | 3,13         | 16,4                               | задовольняє**           |
| Покриття      | 35,77          | 38,53            | 5,23         | 17,1                               | задовольняє**           |
| <b>Всього</b> | <b>78,04</b>   | <b>78,04</b>     |              |                                    |                         |

\*\* Примітка 2: з урахуванням понижуючих коефіцієнтів, описаних у примітці 1.

Утеплення конструктивного елемента дозволило отримати допустиме значення теплового захисту для даного типу будівель на етапі реконструкції. Проте даної товщини утеплювача досі не достатньо для отримання нормативного опору теплопередачі. До того ж, таке рішення має ряд недоліків, зокрема ускладнення монтажу вологозахисного шару та фінішного покриття, що створює додатковий ризик погіршення теплозахисних властивостей утеплюючого матеріалу та, відповідно, експлуатаційного терміну мінеральної вати.

**Збільшення товщини шару утеплювача покриття.** Збільшимо товщину мінеральної вати покриття до 300 мм з утепленням конструктивного виступу. Результати моделювання наведено на рис. 5 та у табл. 5.

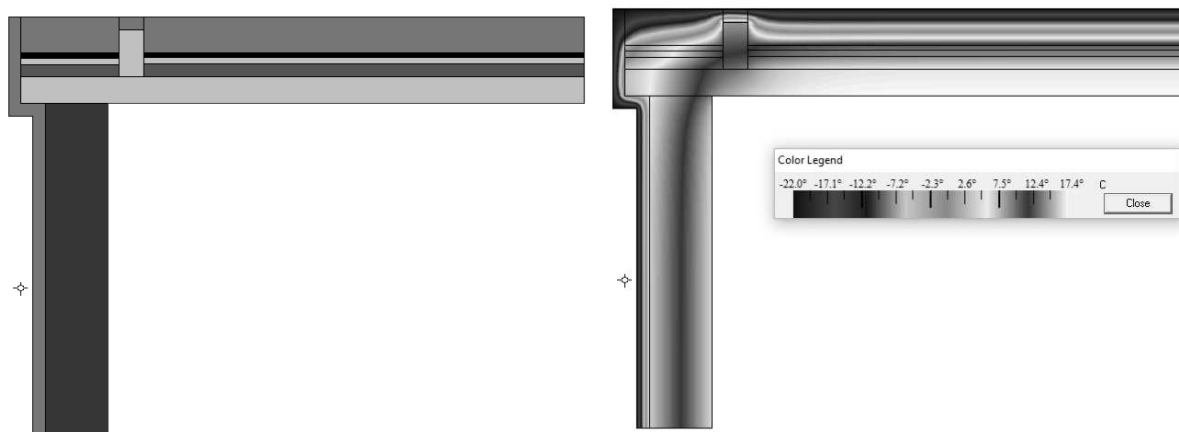


Рис. 5. Моделювання вузла конструкції  
а) геометрія моделі; б) розподіл температур після утеплення  
стіни та покриття з шаром мінвати 300мм

Таблиця 5

Результати: збільшення товщини шару утеплювача покриття

| Конструкція   | Тепловий потік |                  | R,<br>м²К/Вт | Температура<br>внутр. поверхні, °C | Відповідність<br>нормам |
|---------------|----------------|------------------|--------------|------------------------------------|-------------------------|
|               | зовні,<br>Вт   | зсередини,<br>Вт |              |                                    |                         |
| Стіна         | 42,74          | 39,10            | 3,13         | 16,4                               | задовольняє             |
| Покриття      | 27,28          | 30,92            | 6,82         | 17,4                               | задовольняє             |
| <b>Всього</b> | <b>70,02</b>   | <b>70,02</b>     |              |                                    |                         |

Утеплення покриття та конструктивного виступу мінеральною ватою товщиною 300мм дозволило досягнути нормативного значення опору теплопередачі, виконання санітарно-гігієнічних норм стосовно температур поверхонь зовнішніх огорожень зсередини приміщення та дотримання параметрів мікроклімату у житлових будинках.

Висновок. Моделювання окремих вузлів складних конструкцій, що не розглядаються як типові у сучасній нормативній документації, дозволяє врахувати особливості розподілу теплових потоків та температурних полів по конструкції. В результаті можна визначити оптимальний варіант утеплення з урахуванням дотримання норм теплового захисту та санітарно-гігієнічних норм, що дозволить створити комфортний мікроклімат у приміщеннях.

## ЛІТЕРАТУРА

1. ДБН В.2.6–31:2016. Конструкції будівель і споруд. Теплова ізоляція будівель [Чинні від 2017–05–01]. – К.: Укрархбудінформ, 2016. – 33 с.
2. ДСТУ Б В.2.6-189:2013. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель – К.: Мінрегіон України, 2013, - 55 с.
3. Приклади розрахунку до ДСТУ Б В.2.6-189 / Посібник – К.: ДП НДІБК, 2014. – 106 с.

4. ДСТУ Б В.2.6-101:2010 Метод визначення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій – К.: Мінрегіонбуд України, 2010, - 84 с.
5. ДСТУ Б EN 15251:2011. Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичних характеристик будівель по відношенню до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики – К.: Мінрегіон України, 2012, - 71 с.
6. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010.Будівельна кліматологія. – К., 2011. – 127 с.
7. THERM|Windows and Daylighting [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://windows.lbl.gov/software/therm>