

Підвищення енергоефективності житлових будівель за результатами числових моделювань теплових потоків

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі проведення оцінка конструктивних рішень кутів цегляних багатоповерхових будівель, на предмет енергоефективності та запропонувати варіанти утеплення з максимально можливою енергетичною ефективністю. (в сенсі для існуючих, будівель, що експлуатуються), а також в ході реалізації дослідження було виконано числове моделювання існуючих варіантів конструктивних рішень зовнішнього кута стін. (без утеплення).

Ключові слова: енергоефективність, моделювання, числове моделювання, дослідження, цегляні кути, теплові потоки.

Abstract

The work assessed the structural solutions of the corners of brick multi-storey buildings for energy efficiency and proposed insulation options with the maximum possible energy efficiency. (in the sense of existing, operated buildings), and also during the implementation of the study, numerical modeling of existing variants of structural solutions of the external corner of the walls was performed. (without insulation).

Keywords: energy efficiency, modeling, numerical modeling, research, brick corners, heat flows.

Вступ

Підвищення енергоефективності житлових будівель є одним із ключових завдань сучасного будівництва, оскільки тепла поведінка огорожувальних конструкцій безпосередньо визначає рівень енергоспоживання та експлуатаційні витрати будівлі. З урахуванням тенденцій до посилення нормативних вимог щодо питомих тепловтрат і підвищення термічного опору конструкцій виникає потреба у високоточних методах аналізу теплопередачі.

Числове моделювання теплових потоків, засноване на розв'язанні рівнянь теплопровідності та суміжних фізичних процесів, забезпечує можливість детального дослідження термічного стану огорожувальних елементів у стаціонарних та нестаціонарних режимах. Використання скінченно-елементних або скінченно-різницевих методів дозволяє визначити просторовий розподіл температури, локалізувати зони концентрації тепловтрат, оцінити вплив геометричних і матеріальних параметрів конструкцій, а також проаналізувати ефективність варіантів термомодернізації.

Виклад основного матеріалу дослідження

У роботі виконано комплексне числове моделювання процесів теплопровідності та тепломасоперенесення у багатопверхових огорожувальних конструкціях зовнішніх кутів цегляних будівель, що експлуатуються. Метою дослідження стало оцінювання енергоефективності існуючих конструктивних рішень та визначення раціональних варіантів термомодернізації на основі аналізу температурних полів та теплових потоків.

1. Вихідні дані та методологія моделювання.

Моделювання виконувалося для умов експлуатації будівлі при внутрішній температурі $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ та температурі найбільш холодної п'ятиденки $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$. Розглянуто кутові ділянки зовнішніх стін завтовшки 510 мм із силікатної цегли з внутрішнім шаром цементно-піщаної штукатурки завтовшки 20 мм. Теплофізичні характеристики матеріалів відповідають довідковим значенням:

- штукатурка $\lambda = 0.93 \text{ Вт/(м·К)}$;
- силікатна цегла $\lambda = 0.87 \text{ Вт/(м·К)}$.

Числове моделювання виконано методом кінцевих елементів у середовищі ЛІРА-САПР із використанням імпортованих DXF-підложок геометрії. Для кожного варіанта побудовано детальні КЕ-сітки з кількістю елементів від 13 000 до понад 19 000.

№ п / п	Назва задачі	Товщина цегляної стіни, мм	Температура на внутрішній поверхні стіни на відстані 1000 мм від кута, °С	Температура на внутрішній поверхні стіни в куті, °С	Температура на зовнішній поверхні стіни на відстані 1000 мм від кута, °С	Температура на зовнішній поверхні стіни в куті, °С	Товщина стіни прогрітої до плюсової температури, на відстані 1000 мм від кута, мм	Товщина стіни НЕ прогрітої до плюсової температури в куті, мм	Температура на внутрішній поверхні стіни в куті, °С	Температура на зовнішній поверхні стіни в куті, °С	Примітки
Варіанти без утеплювача											
1	МКР-1	510 +20	13.5	7.72	-20.6	-21.3	≈200	≈100	7.72	-22.9	
2	МКР-2	510 +20	13.5	7.88	-20.6	-21.1	≈200	≈100	7.88	-22.9	
3	МКР-3	510 +20	13.5	8.0	-20.6	-21.8	≈210	≈110	8.0	-22.9	
Варіанти з утеплювачем (термомодернізація)											
4	МКР-6	150+5 10+20	18.7	16.7	-22.6	-22.6	≈570	≈100	16.7	-23.0	
5	МКР-7	50+15 0+510 +20	18.7	17.0	-22.6	-22.5	≈575	≈ 90	17.0	-23.0	
6	МКР-8	50+15 0+510 +20	18.7	17.1	-22.6	-22.7	≈585	≈ 90	17.1	-23.0	
Варіанти з утеплювачем (нове будівництво)											
7	МКР-4	120+5 0+510 +20	17.5	14.2	-22.1	-22.3	≈540	≈160	14.2	-23.0	
8	МКР-4- 1	120+5 0+510 +20	17.7	14.6	-22.2	-22.3	≈540	≈160	14.6	-23.0	
9	МКР-5	120+5 0+130 +510+ 20	17.8	16.3	-22.2	-22.6	≈540	≈220	16.3	-23.0	
10	МКР-9	120+5 0+130 +510+ 20	19.0	18.0	-22.6	-22.8	≈600	≈190	18.0	-23.0	
11											
12											
13											

2. Моделювання існуючих конструкцій без утеплення

Проаналізовано три базові варіанти існуючих вузлів (МКР-1, МКР-2, МКР-3), які відрізнялися наявністю та довжиною локального потовщення в зоні кута. Для всіх варіантів отримано подібні температурні картини:

- температура внутрішньої поверхні стіни на відстані 1 м від кута становить 13.5 °С, що нижче нормативного значення 16.0 °С згідно з п. 5.4 ДБН В.2.6-31; (!)
- температури у внутрішньому куті ще нижчі (7.7–8.0 °С), що свідчить про значне теплове ослаблення;
- стіна не прогрівається на значну частину товщини (до 100–110 мм з боку кута);
- локальне потовщення цегляної кладки (65 мм) практично не впливає на температуру: приріст становить лише ≈0.28 °С.

Отримані результати показують, що існуючі конструктивні рішення не відповідають сучасним вимогам енергоефективності та не забезпечують нормативних температур внутрішньої поверхні.

3. Моделювання варіантів термомодернізації (утеплення існуючих будівель)

Досліджено три варіанти утеплення зовнішніх стін мінераловатними або екструдованими плитами товщиною 150 мм та додатковими вставками утеплювача у зоні кута (МКР-6, МКР-7, МКР-8).

Результати засвідчили:

- при суцільному утепленні 150 мм температура внутрішньої поверхні становить 16.7 °C у куті та 18.7 °C на рівній ділянці, що повністю відповідає нормам; (!)
- уся товщина цегляної стіни знаходиться в зоні позитивних температур, а зона мінусових температур зміщується всередину утеплювача;
- додаткові локальні утеплювальні вставки в куті (50–200 мм) не дають істотного підвищення температури, тобто є енергетично неефективними.

Таким чином, основним ефективним заходом при термомодернізації є суцільне погонне утеплення 150 мм, тоді як локальні підсилення шару утеплювача не мають практичної доцільності.

4. Моделювання варіантів для нового будівництва

Окремо виконано моделювання комплексних вузлів для нових будівель (МКР-4, МКР-4-1, МКР-5, МКР-9), які включають:

- лицевальну цеглу 120 мм;
- утеплювач 50 мм;
- додаткові шари утеплювача 120–130 мм у районі кута;
- основну масивну стіну 510 мм.

Результати показали:

- базовий шар утеплювача 50 мм є недостатнім — температури в куті залишаються на рівні 14–16 °C, що близько до межі нормативу;
- збільшення товщини та багат шаровість системи утеплення дозволяють досягти температури 18 °C (МКР-9), забезпечуючи найкращі теплотехнічні показники;
- застосування екструдованого пінополістиролу ($\lambda = 0.037 \text{ Вт/(м·К)}$) у внутрішніх шарах підвищує ефективність конструкції.

Висновок

За результатами числового моделювання тепломасоперенесення в зовнішніх стінах (куті з'єднання та прилеглих ділянок) в багат шарових огорожуючих будівельних конструкціях (за відсутності утеплення).

1. Картина температурних полів огорожуючих елементів цегляної будівлі, як в середині приміщень так і з зовнішньої сторони, не відповідає вимогам сьогоденних ДБН, а саме:
 - ✓ температура внутрішньої поверхні стіни (на відстані 1000 мм від кута і далі) дорівнює 13.5 °C, що не відповідає вимогам п.5.4 [1], за вимогами цього пункту мало б бути не менше 16.0 °C;
 - ✓ температура внутрішньої поверхні стіни (в куті) менше, більше, а ніж в два рази, що мало б бути за вимогами п.5.4 [1];

- ✓ температура зовнішньої поверхні стіни (на відстані 1000 мм від кута і далі) дорівнює – 20.5 °С, при температурі навколишнього середовища - 23.0 °С, що свідчить про те, що теплова енергія витрачається для обігріву навколишнього середовища;
- 2. Наявність потовщення кута стінки цегляним муруванням на 65 мм, в плані енергозбереження, не є ефективним та не залежить від довжини такого потовщення. В куті стінки таке інженерне рішення призводить до підвищення температури внутрішньої поверхні на 0.28 °С, що в практичному сенсі не раціонально та не суттєво.
- 3. Існуючий попередній досвід (історично напрацьований) зведення зовнішніх конструктивних елементів будівлі не відповідає вимогам ДБН і не може бути застосований в інженерній практиці на сьогодні для нового будівництва.
- 4. Для приведення до відповідності вимогам ДБН, існуючих будівель вкрай необхідна термомодернізація.
- 5. Для зведення нових будівель необхідним є розробка нових інженерно-конструктивних рішень.
- 6. Оцінка енергоефективності інженерно-конструктивних рішень, при термомодернізації можлива та доцільна методами числового моделювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- 1.ДБН В.2.6-31:2021 "Теплова ізоляція та енергоефективність будівель"
- 2.ДСТУ 9191:2022 "Теплоізоляція будівель методом вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель"

Стаднюк Дмитро Ігорович-студент групи 2Б-24м, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail:ditrultimof69346@gmail.com

Науковий керівник:Андрухов Валерій Михайлович-доцент, кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail:andruchov@vntu.edu.ua

Stadnyuk Dmytro - student of group 2B-24m, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail:ditrultimof69346@gmail.com

Scientific supervisor:Andruchov Valeriy - associate professor, Department of Construction, Urban Management and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail:andruchov@vntu.edu.ua