

¹Ганжа А.М., д.т.н., завідувач кафедри, ²Семененко Л.В. головний спеціаліст,
³Броневський Ю.Ф., директор, ¹Савраєва Ю.І., аспірант

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ БАГАТОПОВЕРХОВИХ БУДІВЕЛЬ З УРАХУВАННЯМ ІНДИВІДУАЛЬНОГО УТЕПЛЕННЯ

¹Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"
²Управління енергоефективності та енергоменеджменту Департаменту з питань за-
безпечення життєдіяльності міста Виконавчого комітету Харківської міської ради
³ТОВ "ТЕХЕКС-ГАЗ"

Ключові слова: термомодернізація, огороджувальні конструкції, енергоефективність будівель, тепловий потік, фрагментарне утеплення, неконтрольоване утеплення, індивідуальне утеплення, тривимірне температурне поле.

Вступ

У зв'язку з постійним зростанням вартості усіх видів палива, які використовуються у теплоенергетиці, та стрімким бажанням держави знизити енергоемність продукції та послуг у сферах промисловості та житлово-комунального господарства, доцільно приділити більше уваги процесам, які впливають на тепловий режим будівель та споруд.

Значна більшість житлового фонду України збудована протягом 1946–1990 рр. та являє собою багатоповерхові будівлі масових серій, які мають ряд конструктивних недоліків та не відповідають сучасним вимогам енергоефективності. На час спорудження цих будівель діяли будівельні норми та стандарти, в яких підхід до визначення необхідного термічного опору огороджувальних конструкцій поступово змінювався. А саме розраховувався виходячи з необхідного нормованого перепаду між розрахунковою температурою внутрішнього повітря і температурою внутрішньої поверхні огородження та уточнювався економічним розрахунком [1]. Оскільки на той час вартість енергоносіїв була незначною, то прийнятний економічний ефект досягався економію використання будівельних матеріалів. Лише у 1996 році було затверджено зміни до СНиП II-3-79 «Строительная теплотехника» [2], в яких було вперше введено показники мінімально допустимих термічних опорів по видам огороджувальних конструкцій. У 2006 та 2016 рр. ці значення ще раз переглядалися [3, 4]. Так, наприклад, при проектуванні будівель, новому будівництві, реконструкції або термомодернізації значення мінімально допустимого опору теплопередачі $R_{q \min}$, м²·К/Вт для зовнішніх стін відповідало: 1,6–2,5 (для I температурної зони >3501 град.-діб) (СНиП II-3-79 «Строительная теплотехника» зі змінами від 1996р. [2]), 3,3 (ДБН В 2.6-31:2006 «Теплова ізоляція будівель» [3]); 3,3 (ДБН В 2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель» [4]). Величина мінімально допустимого опору теплопередачі світлопрозорих огороджувальних конструкцій становила 0,5, 0,75, 0,75 відповідно, суміщених покриттів – 2,7, 5,35, 6,0 відповідно.

За останнє десятиліття населення стрімко почало утеплювати своє житло з ціллю підвищити внутрішню температуру повітря до комфортної (переважно в багатоповерховому житловому секторі) або ж задля економії ресурсів для опалення (приватний сектор). Через недостатню увагу органів влади у житлово-комунальному секторі, недо-

статню кількість наукових досліджень та широкого інформування населення, відбувається масове утеплення огорожувальних конструкцій мешканцями багатоквартирних будинків в межах власних квартир. Ці дії можуть привести до виникнення температурних мостів, які спричиняють утворення та накопичення водного конденсату, пліснявих грибів та несуть ризики пошкодження будівельних елементів.

Аналіз стану питання

На відміну від вивчення теплового стану будівель при загальній термомодернізації, дослідження теплових процесів, які протікають при частковому утепленні огорожувальних конструкцій, не є поширеним. Про це свідчать результати пошуку наукових доробок на зазначену тематику в наукових базах. У ряді проаналізованих статей можна побачити наступні терміни: «індивідуальне утеплення», «клаптикове утеплення», «часткове утеплення», «фрагментарне утеплення», «несистемне утеплення» та «неконтрольоване утеплення».

На сьогоднішній день в офіційних нормативних документах України не дано визначення проблемі, яка постала у житлово-комунальному господарстві, а саме індивідуальним утепленням зовнішніх стін багатоквартирних будинків в межах окремих квартир. Але вітчизняними науковцями неодноразово наголошувалось на неприпустимості таких дій. Так, наприклад, у роботі [5] описано недоліки «клаптикового утеплення», такі як неякісне виконання робіт, руйнування швів на стиках плит в панельних будинках, подальші проблеми при складанні енергетичного паспорту будівлі, а також відсутність економії теплової енергії. У роботі [6] показано неефективність фрагментарного утеплення стін для утеплених та незначне поліпшення температурних показників в прилеглих квартирах, доведена ефективність зовнішнього утеплення стін, коли термомодернізації піддається вся поверхня стіни.

Постановка задачі (проблеми)

Проаналізувавши актуальний фактичний стан огорожувальних конструкцій житлових будівель – споживачів КП «Теплоенерго» Лозівської міської ради (44 будинки), було виявлено, що відсоток індивідуальних (виконаних мешканцями у межах власних квартир) утеплень зовнішніх стін багатоквартирних будинків коливається від 0% до 16,3 % від загальної площі зовнішньої поверхні зовнішніх стін. За статистичним прийомом «медіана», середнє значення індивідуальних утеплень для даних будівель на 2019 рік становить 4,4 %. За відсутності механізмів, які б контролювали цей процес на державному та на місцевому рівнях, спостерігатиметься тенденція щодо збільшення показника індивідуальних утеплень. Отже, постала необхідність дати визначення процесу індивідуальних утеплень, його впливу на енергоефективність будівель, як невід'ємного елемента сучасного стану житлово-комунального господарства України.

Індивідуальне утеплення – це комплекс заходів несистемного характеру, вчинених мешканцями багатоквартирних будинків та спрямованих на скорочення втрат теплоти з приміщень, в межах яких воно здійснене.

В даній роботі під індивідуальним утепленням розуміється несистемне утеплення, часткове утеплення, фрагментарне утеплення, клаптикове утеплення та неконтрольоване утеплення.

На рис.1 та 2 зображено конструкцію зовнішньої стіни з фрагментом часткового утеплення та розрахункову схему. На рис. 1 також представлена фотографія прикладу несистемного (клаптикового) утеплення.

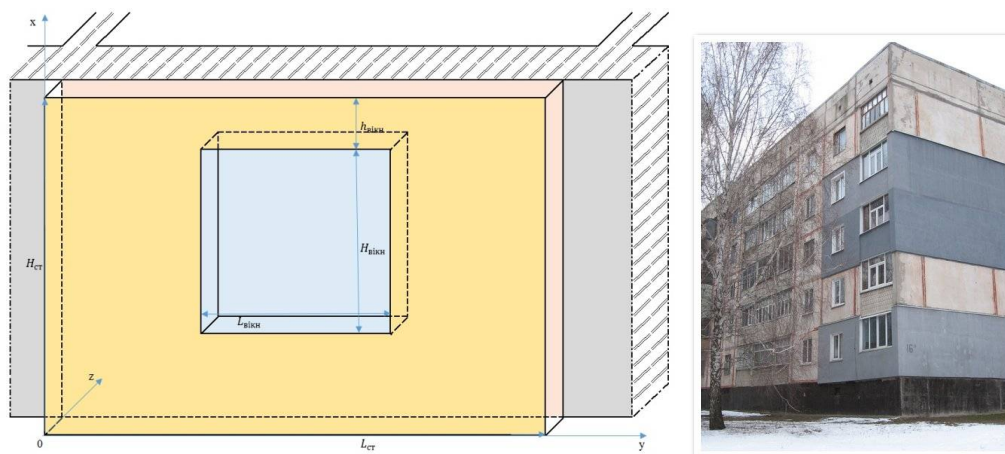


Рисунок 1 – Конструкція зовнішньої стіни з фрагментом часткового утеплення та приклад індивідуального утеплення будинку

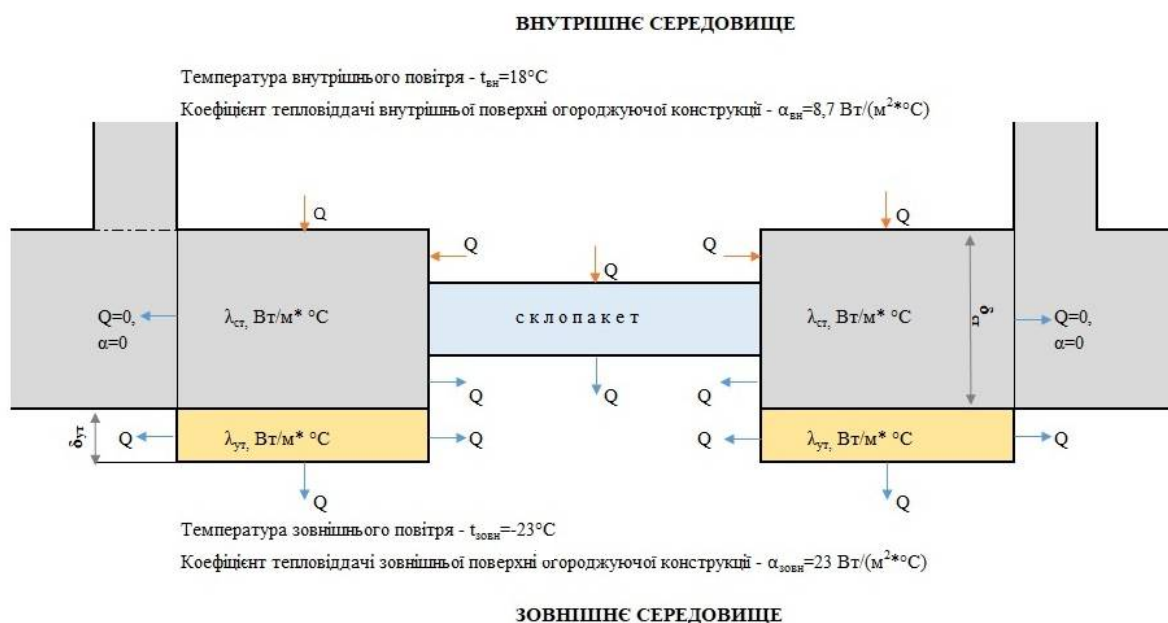


Рисунок 2 – Розрахункова схема та конструкція зовнішньої стіни з фрагментом часткового утеплення

Мета дослідження

Через наявність торців шару утеплювача, має місце збільшення площі тепловіддачі, а отже, збільшується й тепловий потік та він перерозподіляється. У випадку, коли комерційний облік споживання теплової енергії відсутній та є необхідність визначення теплового навантаження будівлі, дане дослідження набуває актуальності.

Метою даного дослідження є визначення теплового потоку через фрагмент зовнішньої стіни житлового багатоквартирного будинку з шаром утеплювача на ньому в залежності чи є в наявності утеплювач в фрагментах стін поряд з досліджуваним фрагментом. У випадку, представленому на рис. 1 та 2, тепловий потік розподіляється не тільки поперек огорожувальної конструкції, а й вздовж у горизонтальному та вертикальному напрямках, а, отже, є необхідність побудови тривимірної математичної моделі.

Одновимірний математична модель

Основне рівняння для стаціонарного теплового потоку при теплопередачі через плоску багат шарову стіну в одновимірній постановці має вид [7] (Вт або ккал/год)

$$Q = q \cdot F; q = \frac{t_B - t_3}{\sum R_i},$$

де Q, q, F – тепловий потік, Вт, щільність теплового потоку Вт/м² або ккал/(м² · год) та площа поверхні стіни, поперек якої передається теплота, м²; $\sum R_i$ – сумарний термічний опір теплопередачі м² · °C/Вт або м² · °C · год/ккал

$$\sum R_i = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_3},$$

де α_B та α_3 – коефіцієнти тепловіддачі від внутрішнього повітря та від стіни до зовнішнього повітря Вт/(м² · °C) або ккал/(год · м² · °C); δ_i та λ_i – товщини, м, та коефіцієнти теплопровідності шарів стіни, Вт/(м · °C) або ккал/(год · м · °C); n – шарів стіни (цегла, бетон, керамзитобетон, штукатурка, утеплювач); t_B та t_3 – температури внутрішнього та зовнішнього повітря, °C.

Тривимірний математична модель

Для стіни з утеплювачем в тривимірній стаціонарній постановці диференціальне рівняння теплопровідності має вид [7, 8]

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial z} \right) = 0.$$

Коли коефіцієнт теплопровідності матеріалу по осях координат x та y можна прийняти постійним, а по осі z : у зоні стіни $\lambda_{cm} = const$, у зоні утеплювача $\lambda_{ym} = const$, диференціальне рівняння теплопровідності прийме вид рівняння Лапласа [7, 8] (у межах шарів стіни та утеплювача):

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = 0.$$

а) Граничні умови IV роду

Припустимо, що між поверхнями стіни та утеплювача здійснюється ідеальний контакт. Відповідно до граничних умов IV роду

$$\lambda_{ym} \frac{\partial t_{ym}}{\partial z} = \lambda_{cm} \frac{\partial t_{cm}}{\partial z}$$

має місце рівність теплових потоків, які проходять через поверхню стикування $z = z_{cm}$.

б) Граничні умови III та II роду

1. Внутрішня стіна:

Згідно з законом Ньютона-Ріхмана та законом збереження енергії кількість теплоти, яка відводиться з одиниці поверхні за одиницю часу внаслідок тепловіддачі, повинна дорівнювати теплоті, що підводиться до одиниці поверхні за одиницю часу внаслідок теплопровідності із внутрішніх об'ємів тіла, тобто

$$-\lambda_{cm} \frac{\partial t}{\partial z} = \alpha_B (t_B - t) \text{ в межах області, обмеженої координатами}$$

$$z = 0; y = \left(0 \dots \left(\frac{L_{cm} - L_B}{2} \right); \left(\frac{L_{cm} + L_B}{2} \right) \dots L_B \right); x = (0 \dots (H_{cm} - H_B - h_B); (h_B \dots H_B)).$$

2. Зовнішня стіна

$$-\lambda_{ym} \frac{\partial t}{\partial z} = \alpha_3 (t - t_3) \text{ в межах області, обмеженої координатами}$$

$$z = \delta_{cm} + \delta_{ym}; y = \left(0 \dots \left(\frac{L_{cm} - L_B}{2} \right); \left(\frac{L_{cm} + L_B}{2} \right) \dots L_B \right); x = (0 \dots (H_{cm} - H_B - h_B); (h_B \dots H_B)).$$

У разі, якщо утеплювача немає, тобто $\delta_{ym} = 0$, λ_{ym} зміниться на λ_{cm} .

3. Стик між стіною та сусіднім приміщенням (висота). Приймається умова відсутності теплового потоку (тільки в межах шару стіни та якщо він якісно тепло- і гідроізолюваний). Граничні умови III роду переходять у граничні умови II роду

$$Q = 0, \quad -\lambda_{cm} \frac{\partial t}{\partial y} = \alpha (t_B - t), \quad \alpha = 0 \rightarrow \frac{\partial t}{\partial y} = 0,$$

$$y = 0, \quad y = L_{cm}, \quad z = (0 \dots \delta_{cm}), \quad x = (0 \dots H_{cm}).$$

4. Стик між стіною та сусіднім приміщенням (довжина). Приймається умова відсутності теплового потоку (тільки в межах шару стіни та якщо він якісно тепло- і гідроізолюваний). Граничні умови III роду переходять у граничні умови II роду

$$Q = 0, \quad -\lambda_{cm} \frac{\partial t}{\partial x} = \alpha (t_B - t), \quad \alpha = 0 \rightarrow \frac{\partial t}{\partial x} = 0,$$

$$x = 0, \quad x = H_{cm}, \quad z = (0 \dots \delta_{cm}), \quad y = (0 \dots L_{cm}).$$

5. Стик між стіною та склопакетом (висота). Приймається умова відсутності теплового потоку (при якісній тепло- і гідроізоляції). Граничні умови III роду переходять у граничні умови II роду

$$Q = 0, \quad -\lambda_{cm} \frac{\partial t}{\partial y} = \alpha (t_B - t), \quad \alpha = 0 \rightarrow \frac{\partial t}{\partial y} = 0,$$

$$y = \left(\frac{L_{cm} - L_B}{2} \right), \quad y = \left(\frac{L_{cm} + L_B}{2} \right), \quad z = (\delta_{cm} - h_{нак} - \delta_{нак}) \dots (\delta_{cm} - h_{нак});$$

$$x = (H_{cm} - H_B - h_B) \dots (H_{cm} - h_B).$$

6. Стик між стіною та склопакетом (довжина). Приймається умова відсутності теплового потоку (при якісній тепло- і гідроізоляції). Граничні умови III роду переходять у граничні умови II роду

$$Q = 0, \quad -\lambda_{cm} \frac{\partial t}{\partial x} = \alpha(t_B - t), \quad \alpha = 0 \rightarrow \frac{\partial t}{\partial x} = 0,$$

$$y = \left(\frac{L_{cm} - L_B}{2} \right) \dots \left(\frac{L_{cm} + L_B}{2} \right); \quad z = (\delta_{cm} - h_{нак} - \delta_{нак}) \dots (\delta_{cm} - h_{нак});$$

$$x = (H_{cm} - H_B - h_B); \quad x = (H_{cm} - h_B).$$

в) Граничні умови на бокових поверхнях, які враховуються тільки у тривимірній моделі.

А) Зовнішні

7. По висоті утеплювача на стику

$$-\lambda_{ym} \frac{\partial t}{\partial y} = \alpha_{T_H} (t - t_3); \quad z = \delta_{cm} \dots (\delta_{cm} + \delta_{ym}); \quad x = 0, \quad x = H_{cm};$$

а) $y = 0$, б) $y = L_{cm}$

8. По довжині утеплювача на стику

$$-\lambda_{ym} \frac{\partial t}{\partial x} = \alpha_{T_L} (t - t_3); \quad z = \delta_{cm} \dots (\delta_{cm} + \delta_{ym}); \quad y = 0 \dots L_{cm};$$

а) $x = 0$, б) $x = H_{cm}$.

9. По висоті утеплювача і стіни біля вікна

$$-\lambda_{ym} \frac{\partial t}{\partial y} = \alpha_{B_h} (t - t_3); \quad z = \delta_{cm} \dots (\delta_{cm} + \delta_{ym});$$

$$-\lambda_{ym} \frac{\partial t}{\partial y} = \alpha_{B_h} (t - t_3); \quad z = (\delta_{cm} - h_{нак}) \dots \delta_{cm};$$

$$x = (H_{cm} - H_B - h_B) \dots (H_{cm} - h_B).$$

а) $y = \left(\frac{L_{cm} - L_B}{2} \right)$, б) $y = \left(\frac{L_{cm} + L_B}{2} \right)$,

10. По довжині утеплювача і стіни біля вікна

$$-\lambda_{ym} \frac{\partial t}{\partial x} = \alpha_{B_L} (t - t_3); \quad z = \delta_{cm} \dots (\delta_{cm} + \delta_{ym});$$

$$-\lambda_{ym} \frac{\partial t}{\partial x} = \alpha_{B_L} (t - t_3); \quad z = (\delta_{cm} - h_{нак}) \dots \delta_{cm};$$

$$y = \left(\frac{L_{cm} - L_B}{2} \right) \dots \left(\frac{L_{cm} + L_B}{2} \right);$$

$$\text{а) } x = (H_{cm} - H_B - h_B); \quad \text{б) } x = (H_{cm} - h_B).$$

Б) внутрішні

11. Біля вікна (по висоті)

$$-\lambda_{ym} \frac{\partial t}{\partial y} = \alpha_B (t_B - t); \quad z = 0 \dots (\delta_{cm} - h_{нак} - \delta_{нак}); \quad x = (H_{cm} - H_B - h_B) \dots (H_{cm} - h_B);$$

$$\text{а) } y = \left(\frac{L_{cm} - L_B}{2} \right), \quad \text{б) } y = \left(\frac{L_{cm} + L_B}{2} \right).$$

12. Біля вікна (по довжині)

$$-\lambda_{ym} \frac{\partial t}{\partial x} = \alpha_B (t_B - t); \quad z = 0 \dots (\delta_{cm} - h_{нак} - \delta_{нак}); \quad y = \left(\frac{L_{cm} - L_B}{2} \right) \dots \left(\frac{L_{cm} + L_B}{2} \right);$$

$$\text{а) } x = (H_{cm} - H_B - h_B); \quad \text{б) } x = (H_{cm} - h_B).$$

У випадку неврахування бокових потоків приймається $\alpha = 0$ (тільки в умовах 7 – 10, та/або 11 – 12). Граничні умови III роду у такому випадку переходять у граничні умови II роду.

2) Підрахунок кількості теплоти (тепловтрат)

1. Всередині прямоку в стіну

$$Q_{TO} = Q_1 + Q_{11} + Q_{12}$$

2. Ззовні прямоку з огороження

$$Q_{CO} = Q_2 + Q_7 + Q_8 + Q_9 + Q_{10}$$

У цих рівняннях індекси при теплових потоках відповідають граничним умовам. Теплові потоки визначаються як сума елементарних теплових потоків (щільностей) поперек сітки розбиття у відповідній площині.

У стаціонарному випадку ці два значення повинні бути рівними. Допустиме розходження встановлюється прийнятим методом розрахунку.

Розрахунки і аналіз

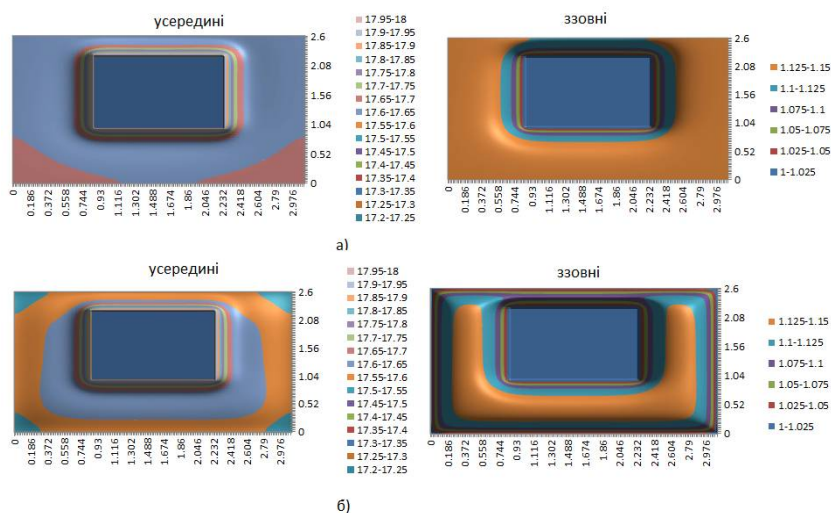
Для розв'язання даної задачі використовується чисельний кінцево-різницевий метод змінних напрямлень у тривимірному виді в комбінації з методом неявної прогонки [9]. Для його реалізації з урахуванням особливостей задачі була створена комп'юте-

рна програма. При зміні граничних умов програма також може розв'язувати двохвимірні та одновимірні задачі. Варіанти розрахунків:

в умовах 7а), 7б); 8а), 8б); α_{T_H} і α_{T_L} – прирівнюються до нуля – отримаєм $Q = 0$ – умова прилягання утеплювача

- а) ліворуч; б) праворуч,
або
а) знизу; б) зверху.

На рис. 3 приведений результат досліджень огорожувальної конструкції приміщення з вікном зі склопакету (має синій колір). Середні температури зовнішнього повітря $+1^\circ\text{C}$, усередині приміщення $+18^\circ\text{C}$. Наведені два варіанти розрахунку: коли всі суміжні приміщення утеплені (рис. 3 а), та коли утеплена тільки стіна, яка розглядається (рис. 3 б). У тривимірних розрахунках враховувались теплові потоки з бокових поверхонь вікна та через торцеві поверхні утеплення у варіанті б). У результаті збільшення теплового потоку через стіну у варіанті б) порівняно з варіантом а) склало 11 %. Ці два результати є крайніми – системна термомодернізація та клаптикове утеплення, інші варіанти будуть відображати збільшення теплового потоку через несистемність між 0 та 11 %.



а) з усіх боків прилягає утеплювач (системна термомодернізація), б) клаптикове утеплення

Рисунок 3 – Результати моделювання розподілу температур поверхні у фрагменті огорожувальної конструкції

Обговорення результатів

Як видно з рис. 3, температурні поля поверхонь стін є тривимірними, є додаткові теплові потоки (теплові мости), які не враховуються у спрощеному одновимірному розрахунку.

У одновимірному розрахунку при утепленні тепловий потік від стіни зменшується в 2,43 рази. При врахуванні сумарного теплового потоку від бокових поверхонь біля вікна (теплових мостів) та системному утепленні – в 1,75 разів. При клаптиковому утепленні та врахуванні сумарного теплового потоку від бокових поверхонь біля вікна – в 1,6 разів.

Наступним етапом розрахунків є визначення фактичних температур повітря у приміщеннях багатопверхового будинку з урахуванням фактичного стану огорожувальних конструкцій та системи опалення, нагрівальних приладів, режимних параметрів теплоносія та параметрів зовнішнього повітря. Методи та засоби цього аналізу приведені у [10] та можуть враховувати підсумкові дані коригування тепловтрат після математичного моделювання, описаного у цій роботі. У підсумку результати будуть враховуватись у проектах термомодернізації будівель, реконструкції систем теплопостачання, раціональному розміщенні джерел, підборі обладнання та регулюванні роботи приладів. Деякі результати наведені у роботах [11, 12].

Висновки

У роботі обґрунтована тенденція до збільшення показника індивідуальних утеплень зовнішніх стін багатоквартирних будинків та недоліки, до яких призводять ці дії. Дано визначення проблеми індивідуальних утеплень. Виконано математичне моделювання фрагменту частково утепленої стіни огорожувальної конструкції з визначенням теплового потоку шляхом розв'язання тривимірного диференціального рівняння теплопровідності з заданням граничних умов II, III та IV роду та розподілом характеристик шару будівельних конструкцій та ізоляції. Ці результати можуть бути використані при аналізі ефективності індивідуального утеплення будинку в цілому з урахуванням фрагментарних утеплень та порівнянні з системною термомодернізацією. У нашому випадку несистемність утеплення огорожувальних конструкцій будинку зменшує корисний ефект від утеплення з 1,75 до 1,6 (зменшення тепловтрат від стіни). При аналізі ефективності термомодернізації всього будинку необхідно враховувати яким чином розташовані утеплення, вікна, двері, остеклення балконів, дахи і підлоги.

Література

1. СНиП Н-3-79**. Строительная теплотехника / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986.
2. Зміна № 1 до СНиП Н-3-79**. Строительная теплотехника. Затверджена наказом Державного комітету України в справах містобудування і архітектури від 17 червня 1996р. № 117.
3. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31 : 2006. –Офіційне видання. – К. : Мінрегіонбуд України, 2006.
4. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31 : 2016. –Офіційне видання. – К. : Мінрегіон України, 2017.
5. Симонов С.И. Проблемы термомодернизации жилых домов первых массовых серий / С.И. Симонов, И.Н. Симонова, О.А. Черных // Збірник наукових праць Донбаського державного технічного університету. – 2017. – Вип. 1. – С. 84–93.
6. Н.В. Тимофеев, С.А. Сахновская, С.М. Боклаг, А И. Петунина Эффективность фрагментарной скрепленной теплоизоляции наружных стен // Сучасне промислове та цивільне будівництво. – 2011, том 7, № 2, 91–97.
7. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача, Издание 4-е перераб. и дополненное. – М.: "Энергоиздат", 1981. – 415 с.
8. Перестюк М.О., Маринець В.В. Теорія рівнянь математичної фізики. - К.:Либідь, 2014, –363 с.
9. Самарский А.А. Теория разностных схем / Самарский А.А. – М.: Наука, 1989. – 616 с.

10. Ганжа А.М., Марченко Н.А., Семененко Л.В. Визначення ефективності теплопостачання багатоповерхового житлового будинку з урахуванням нерівномірності підведення теплоти до приміщень та несистемних утеплень // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. – 2019 – Том 9. – № 1. <http://oj.tsatu.edu.ua/index.php/visnik/article/view/130/176>.

11. Моделювання процесів передачі теплоти від котельні до житлового масиву на основі гідравлічних розрахунків складної теплової мережі / А.М. Ганжа, Н.А. Марченко, В.М. Підкопай, Е.М. Немцев // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" : зб. наук. пр. Темат. вип. : "Гідравлічні машини та гідроагрегати" – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 22 (1244). – С. 83–87. http://library.kpi.kharkov.ua/files/Vestniki/2017_22.pdf.

12. Раціональні параметри теплоносія від джерела у системі теплопостачання з урахуванням фактичних характеристик обладнання / А.М. Ганжа, В.М. Підкопай, Е.М. Немцев // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2017. – №2. – С. 76–81. http://www.ela.kpi.ua/jspui/bitstream/123456789/21209/1/eete2017_2_10Hanzha.pdf.

Bibliography (transliterated)

1. SNiP N-3-79**. Stroitel'naya teplotekhnika / Gosstroy SSSR. – M.: TsITP Gosstroya SSSR, 1986.

2. Zmina # 1 do SNiP N-3-79**. Stroitel'naya teplotekhnika. Zatverdzhena nakazom Derzhavnogo komitetu Ukrayini v spravah mlstobuduvannya I arhitekturi vld 17 chervnya 1996r. # 117.

3. Teplova Izolyatsiya budivel: DBN V.2.6-31 : 2006. –Ofitsiyne vidannya. – K. : Minregionbud Ukrayini, 2006.

4. Teplova izolyatsiya budivel: DBN V.2.6-31 : 2016. –Ofitsiyne vidannya. – K. : Minregion Ukrayini, 2017.

5. Simonov S.I. Problemy termomodernizatsii zhilyih domov pervyih massovyih seriy / S.I. Simonov, I.N. Simonova, O.A. Chernyih // Zbirnik naukovih prats Donbaskogo derzhavnogo tehnicnogo universitetu. – 2017. – Vip. 1. – P. 84–93.

6. N.V. Timofeev, S.A. Sahnovskaya, S.M. Boklag, A I. Petunina Effektivnost fragmentarnoy skreplennoy teploizolyatsii naruzhnyih sten // Suchasne promisllove ta tsivilne budivnitstvo. – 2011, tom 7, # 2, 91–97.

7. Isachenko V.P., Osipova V.A., Sukomel A.S. Teploperedacha, Izdanie 4-e pererab. i dopolnennoe. – M.: "Energoizdat", 1981. – 415 s.

8. Perestyuk M.O., Marinets V.V. Teoriya rivnyan matematichnoyi flziki. -K.:LibId, 2014, –363 s.

9. Samarskiy A.A. Teoriya raznostnyih shem / Samarskiy A.A. – M.: Nauka, 1989. – 616 s.

10. Ganzha A.M., Marchenko N.A., Semenenko L.V. Vznachennya effektivnosti teplopostachannya bagatopoverhovogo zhitlovogo budinku z urahuvannyam nerivnomirnosti pidvedennya teploti do primischen ta nesistemnih uteplen // Naukoviy visnik Tavriyskogo derzhavnogo agrotehnologichnogo universitetu. – 2019 – Том 9. – # 1. <http://oj.tsatu.edu.ua/index.php/visnik/article/view/130/176>.

11. Modelyuvannya protsesiv peredachi teploti vid kotelni do zhitlovogo masivu na osnovi gidravlichnih rozrahunkiv skladnoyi teplovoyi merezhi / A.M. Ganzha, N.A. Marchenko, V.M. Pidkopay, E.M. NEmtsev // Visnik Natsionalnogo tehnicnogo universitetu "Harkivskiy politehnicniy Institut" : zb. nauk. pr. Temat. vip. : "GIdravlichni mashini ta

gIdroagregati" – Harkiv : NTU «НПІ», 2017. – # 22 (1244). – P. 83–87. http://library.kpi.kharkov.ua/files/Vestniki/2017_22.pdf.

12. Ratsionalni parametri teplososyia vid dzherela u sisteml teplopostachannya z urahuvannyam faktichnih harakteristik obladnannya / A.M. Ganzha, V.M. Pidkopay, E.M. Nemtsev // Energetika: ekonomika, tehnologiyi, ekologiya. – 2017. – #2. – P. 76–81. http://www.ela.kpi.ua/jspui/bitstream/123456789/21209/1/eete2017_2_10Hanzha.pdf.

УДК 697.1:697.3:536.2

Ганжа А.М., д.т.н., завідувач кафедри, Семененко Л.В. головний спеціаліст,
Броневський Ю.Ф., директор, Савраєва Ю.І., аспірант

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ БАГАТОПОВЕРХОВИХ БУДІВЕЛЬ З УРАХУВАННЯМ ІНДИВІДУАЛЬНОГО УТЕПЛЕННЯ

На даний час проблемі загальної термомодернізації огороджувальних конструкцій будівель приділяється багато уваги як на рівні науковців, так і на рівні споживачів. Це є одним з ефективних шляхів зменшення споживання природного газу, зниження негативного впливу на навколишнє середовище, дотримання і поліпшення комфортних умов у приміщенні. За останнє десятиліття населення стрімко почало утеплювати своє житло з ціллю підвищити внутрішню температуру повітря до комфортної в багатоповерховому житловому секторі. Через недостатню увагу органів влади у житлово-комунальному секторі, недостатню кількість наукових досліджень та широкого інформування населення, відбувається масове утеплення огороджувальних конструкцій мешканцями багатоквартирних будинків в межах власних квартир. Але дослідження теплових процесів, які протікають при індивідуальному (несистемному) утепленні огороджувальних конструкцій, їх ефективності, на даний час повністю не завершено. Тому поставлена проблема, особливо в умовах значного подорожчання природного газу та електроенергії є актуальною.

У роботі виконано математичне моделювання фрагменту частково утепленої стіни огороджувальної конструкції з визначенням теплового потоку шляхом розв'язання тривимірного диференціального рівняння теплопровідності з граничними умовами II, III та IV роду та розподілом характеристик шару будівельних конструкцій та ізоляції. Ці результати можуть бути використані при аналізі ефективності індивідуального утеплення будинку в цілому з урахуванням фрагментарних утеплень та порівнянні з системною термомодернізацією.

У результаті моделювання визначені температурні поля поверхонь стін, які є тривимірними, є додаткові теплові потоки (теплові мости), які не враховуються у спрощеному одновимірному розрахунку. У одновимірному розрахунку при утепленні тепловий потік від стіни зменшується в 2,43 рази. При врахуванні сумарного теплового потоку від бокових поверхонь біля вікна (теплових мостів) та системному утепленні – в 1,75 разів. При клаптиковому утепленні та врахуванні сумарного теплового потоку від бокових поверхонь біля вікна – в 1,6 разів.

Наступним етапом розрахунків є визначення фактичних температур повітря у приміщеннях багатопверхового будинку з урахуванням фактичного стану огороджувальних конструкцій та системи опалення, нагрівальних приладів, режимних парамет-

рів теплоносія та параметрів зовнішнього повітря. Методи та засоби цього аналізу можуть враховувати підсумкові дані коригування тепловтрат після математичного моделювання, наведеного у цій роботі. У підсумку результати будуть враховуватись у проєктах термомодернізації будівель, реконструкції систем теплопостачання, раціональному розміщенні джерел, підборі обладнання та регулюванні роботи приладів.

Ганжа А.Н., Семененко Л.В. Броневский Ю.Ф., Савраева Ю.И.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ С УЧЕТОМ ИНДИВИДУАЛЬНОГО УТЕПЛЕНИЯ

В настоящее время проблеме общей термомодернизации ограждающих конструкций зданий уделяется большое внимание как на уровне ученых, так и на уровне потребителей. Это является одним из эффективных путей уменьшения потребления природного газа, снижения негативного воздействия на окружающую среду, соблюдения и улучшения комфортных условий в помещении. В последнее десятилетие население стремительно начало утеплять свое жилье с целью повысить внутреннюю температуру воздуха до комфортной в многоэтажном жилом секторе. Из-за недостаточного внимания органов власти в жилищно-коммунальном секторе, недостаточного количества научных исследований и широкого информирования населения происходит массовое утепление ограждающих конструкций жителями многоквартирных домов в пределах собственных квартир. Но исследование тепловых процессов, протекающих при индивидуальном (несистемном) утеплении ограждающих конструкций, их эффективности, в настоящее время полностью не завершено. Поэтому поставленная задача, особенно в условиях значительного удорожания природного газа и электроэнергии, актуальна.

В работе выполнено математическое моделирование фрагмента частично утепленной стены ограждающей конструкции с определением теплового потока путем решения трехмерного дифференциального уравнения теплопроводности с граничными условиями рода II, III и IV и распределением характеристик в слое строительной конструкции и утепления. Эти результаты могут быть использованы при анализе эффективности индивидуального утепления в целом с учетом фрагментарных утеплений и сравнении с системной термомодернизацией.

В результате моделирования определены температурные поля поверхностей стен, которые являются трехмерными, есть дополнительные тепловые потоки (тепловые мосты), которые не учитываются в упрощенном одномерном расчете. В одномерном расчете при утеплении тепловой поток от стены уменьшается в 2,43 раза. При учете суммарного теплового потока от боковых поверхностей у окна (тепловых мостов) и системном утеплении – в 1,75 раза. При лоскутном утеплении и учете суммарного теплового потока от боковых поверхностей у окна – в 1,6 раза.

Следующим этапом расчета является определение фактических температур воздуха в помещениях многоэтажного здания с учетом фактического состояния ограждающих конструкций и системы отопления, нагревательных приборов, режимных параметров теплоносителя и параметров наружного воздуха. Методы и средства этого анализа могут учитывать итоговые данные корректировки теплопотерь после математического моделирования, приведенного в данной работе. В результате результаты будут учитываться в проєктах термомодернізації зданий, реконструкції систем тепло-

снабжения, рациональном размещении источников, подборе оборудования и регулировании работы приборов.

Anton Ganzha, D.E.Sc., Head of Heat engineering and energy efficient technologies department, Liudmyla Semenenko, Head specialist, Yuzef Bronevskyi, director, Yuliia Savraieva, graduate student

MATHEMATICAL MODELING OF THERMAL EFFICIENCY OF BUILDING ENVELOPE OF MULTI-STOREY BUILDINGS WITH ACCOUNT OF INDIVIDUAL INSULATION

At present, the problem of general thermal modernization of building envelopes is given much attention both at the level of scientists and consumers. This is one of the effective ways to reduce natural gas consumption, reduce the negative impact on the environment, maintain and improve comfortable indoor conditions. Over the last decade, the population has rapidly begun to insulate their homes in order to raise the indoor air temperature to a comfortable level in the multi-storey residential sector. Due to insufficient attention of the authorities in the housing and communal sector, the lack of scientific research and widespread public awareness, there is a massive thermal insulation of building by residents of multi-store buildings within their own apartments. But the study of thermal processes that occur in individual thermal insulation of enclosing structures is currently not fully completed. Therefore, in the context of significant increases in gas and electricity prices, this problem is relevant.

In the study was carried out mathematical modeling of a fragment of a partially insulated wall of an enclosing structure with determination of heat flux by solving a three-dimensional differential equation of thermal conductivity with boundary conditions of II, III and IV kind and distribution of characteristics of building structures and insulation. These results can be used in the analysis of the efficiency of insulation of the building taking into account the fragmentary insulation and of comparison with systemic thermal modernization.

As a result of modeling, the three-dimensional temperature fields of wall surfaces, are determined, there are additional heat fluxes (thermal bridges), which are not considered in the simplified one-dimensional calculation. In one-dimensional calculation, the heat flux from the wall is reduced by 2.43 times during insulation. Taking into account the total heat flow from the side surfaces near the window (thermal bridges) and system insulation - by 1.75 times. With fragmentary insulation and considering the total heat flux from the side surfaces near the window - by 1.6 times.

The next stage of calculations is the determination of the actual air temperatures in the premises of a multi-storey building considering the actual condition of enclosing structures and heating systems, heaters, mode parameters of the coolant and outdoor air parameters. The methods and means of this analysis can take into account the final data of heat loss adjustment after the mathematical modeling presented in this paper. In consequence, the results will be taken into account in the projects of thermal modernization of buildings, reconstruction of heating systems, rational placement of sources, selection of equipment and regulation of devices.

Keywords: thermal modernization, building envelope, energy efficiency of buildings, heat flow, fragmentary insulation, uncontrolled insulation, individual insulation, three-dimensional temperature field.