

УДК 620.9

ДЕШКО В. І., БІЛОУС І. Ю., МАКСИМЕНКО О. Е.

Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна

ВПЛИВ МІСЦЕВОГО ПОКВАРТИРНОГО РЕГУЛЮВАННЯ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ НА ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ

Мета. Аналіз розподілу витрат теплової енергії на опалення типових будівель до та після термомодернізації з урахуванням місцевого поквартирного регулювання, а також дослідження впливу перетоків теплоти між суміжними зонами (квартирами).

Методика. В роботі проведено дослідження регулювання розподілу опалення однотрубною системою з замикаючими ланками 5-ти поверхової типової будівлі масової забудови 80-х років до та після термомодернізації на основі імітаційної моделі створеної в програмному середовищі Mathcad для проектних/розрахункових та середніх умов.

Результати. Досліджено вплив внутрішніх перетоків тепла в суміжні приміщення, зміна внутрішньої температури повітря під впливом локальної зміни коефіцієнтів затікання в опалювальний прилад.

Наукова новизна. Показано вплив та обмеження локального регулювання опалення вертикальних однотрубних систем в умовах теплової взаємодії приміщення з прилеглими зонами будівлі до та після теплової модернізації будівлі. Надано оцінку можливих додаткових витрат на опалення за рахунок перетоків через внутрішні огороження при регулюванні рівня температури внутрішнього повітря в сусідніх приміщеннях.

Практична значимість. Розроблені підходи, отримані результати по впливу локального регулювання приладів вертикальних однотрубних систем опалення можуть бути використані при уточненні розподілу споживання енергії на опалення між окремими зонами багатоквартирних будинків.

Ключові слова: енергозбереження; внутрішня температура; регулювання та витрати енергії на опалення; житлові будівлі; моделювання.

Вступ. Враховуючи енергетичну залежність України від іноземних постачальників, скінченність енергетичних ресурсів, зміни клімату та екологічні проблеми, все гостріше постає питання ефективного використання енергоносіїв. Потрібно зазначити, що сектор громадських та житлових будівель споживає левову частку енергії, як у світових масштабах, загалом, так і межах України зокрема [1]. В даний час внесок житлових будівель в глобальне споживання енергії становить приблизно 30–40% [2], і є однією з найвищих у світі, що обумовлює першочергову необхідність підвищення енергоефективності саме в цьому секторі.

Тому, зараз в Україні, як і в інших країнах світу ведеться активна політика щодо підвищення енергоефективності будівель, яка включає в себе розробку нормативної бази, організаційних, техніко-економічних, технологічних аспектів виробництва, розподілу, транспортування та споживання енергії [3]. Відповідно до [4] зростають вимоги до ефективного використання енергії не лише на опалення, але й на охолодження та гаряче водопостачання.

Таким чином, на даному етапі єдиним способом скорочення витрат є суттєве зменшення кількості споживання теплової енергії. Зазвичай даного ефекту можна досягти багатьма шляхами. Найбільш розповсюдженим (простий в реалізації) є термомодернізація будівлі, оскільки основна частина будинків житлово-комунальної сфери в Україні побудована в період масової забудови 80-тих років ХХ століття, при будівництві яких акцент робився на вартості будівництва, тобто мінімізувалися капітальні затрати і майже не враховувалися експлуатаційні витрати [5, 6]. Як наслідок, 80% будівель не відповідають сучасним вимогам енергоефективності: мають низький рівень теплозахисту, обладнані залежними однотрубними

системами опалення, енерговитратними системами механічної вентиляції, які у більшості випадків не використовуються, а середнє питоме енергоспоживання у 2–3 рази вище, ніж відповідний показник у розвинутих державах-членах ЄС [7].

Найменш затратним засобом підвищення енергоефективності є регулювання систем опалення. Але воно можливе лише при забезпеченні умов комфортності та достатньому рівні теплового захисту і зацікавленості мешканців в індивідуальному запровадженні енергоефективних режимів опалення. Розосередження наслідків індивідуального регулювання в просторі і в часі ускладнює їх аналіз та потребує додаткових досліджень.

Відповідно до [8] зниження витрат енергоносіїв на опалення будівель може досягатися різними шляхами. В даний час більшість багатоповерхових житлових будинків в Україні реалізують термомодернізацію шляхом використання сучасних теплоізоляційних матеріалів та технологій з обов'язковою модернізацією системи опалення, адже утеплення будівлі без модернізації системи опалення може не дати позитивного результату в економії енергії, і навіть призвести до негативного результату – збільшення енергоспоживання [9]. Ці проблеми експлуатаційного характеру пов'язані зі зміною температурних графіків систем опалення, локальним регулюванням мешканцями умов опалення і так далі.

Сучасні дослідження питань енергоефективності будівель спираються на концепцію будівлі як енергетичної системи, до складу якої як активний елемент входить людина [10, 11]. Досліджується активний вплив користувачів перш за все для громадських будівель [12, 13]. Розосередження впливу мешканців має не менше значення для багатоквартирних будинків, в тому числі на визначення розподілу споживання енергії на опалення [14–16], і потребує додаткового вивчення.

Оскільки основним орієнтиром при реалізації комплексу енергозберігаючих заходів є зменшення енергоспоживання при дотриманні нормативної внутрішньої температури повітря в приміщеннях, актуальним є дослідження не лише досліджуваної квартири, а й сусідніх приміщень, оскільки при різниці температурних умов виникає такий ефект, як теплові перетоки через внутрішні огорожувальні конструкції. Теплові перетоки спричиняють додаткові тепловтрати, зменшують енергоефективність регулювання та будівлі в цілому. Зміна температурних умов за допомогою регулювання системи опалення окремими мешканцями лише в одній квартирі може мати значний вплив на тепловтрати через внутрішні огорожувальні конструкції та умови комфортності в сусідніх квартирах.

Постановка задачі. Враховуючи експлуатаційні особливості, які виникають під впливом соціально-поведінкових особливостей мешканців будинку **метою роботи** є аналіз розподілу витрат теплової енергії на опалення типових будівель до та після термомодернізації з урахуванням місцевого поквартирного регулювання, а також дослідження впливу перетоків теплоти між суміжними зонами (квартирами).

Відповідно до поставлено мети мають бути виконані наступні **завдання**:

- 1) створення та налаштування математичної моделі житлової будівлі, особливістю якої є теплова взаємодія окремих приміщень по стояку одноконтурної системи опалення;
- 2) визначення витрат на опалення та температур окремих приміщень під впливом індивідуального регулювання;
- 3) аналіз перетоків теплоти між сусідніми квартирами при умові впровадження комплексу енергозберігаючих заходів щодо покращення теплофізичних характеристик огорожуючих конструкцій будівлі і місцевого регулюванні системи опалення.

Результати досліджень.

Вихідні дані. Об'єктом дослідження, відповідно до поставленої мети, обрано типову багатоквартирну п'ятиповерхову житлову будівлю, без складних архітектурно-планувальних чи конструктивних рішень, яка розташована в місті Київ. Як і в більшості будинків,

побудованих у 60–80-х роках передбачена однотрубна система опалення, з верхньою розводкою, проточною схемою підключення опалювальних приладів (радіатори типу МС-140) із замикаючою ділянкою та можливістю місцевого регулювання за допомогою байпасу. Температурний графік системи опалення будівлі для розрахункових умов становить «95/70». За проектом передбачено коефіцієнт затікання для опалюваних приладів $\alpha = 0,5$. Потужність приладів опалення для чавунних радіаторів обрана для забезпечення в приміщеннях внутрішньої температури 18°C при розрахункових умовах зовнішньої температури та температурного графіку системи опалення. Будинок має плоский дах ($R = 2,13 \text{ м}^2\text{K/Вт}$) та підлогу розташовану на ґрунті ($R = 2,56 \text{ м}^2\text{K/Вт}$).

Для імітаційного моделювання створена модель блоку п'яти однакових приміщень, які опалюються, розташованих на різних поверхах. Розміри кімнати $4,5 \times 4$ м, висота приміщення 2,8 м. Кімната має одну зовнішню стіну з вікном $1,2 \times 1,5$ м (рис. 1). Вікно – з подвійним заскленням у дерев'яних спарених плетіннях. Несучі стіни виконані з червоної пористої цегли з термічним опором огороження $0,9 \text{ м}^2\text{K/Вт}$, а внутрішні стіни – з термічним опором огороження $0,54 \text{ м}^2\text{K/Вт}$. Міжповерхові перекриття – залізобетонна плита товщиною 22 см.

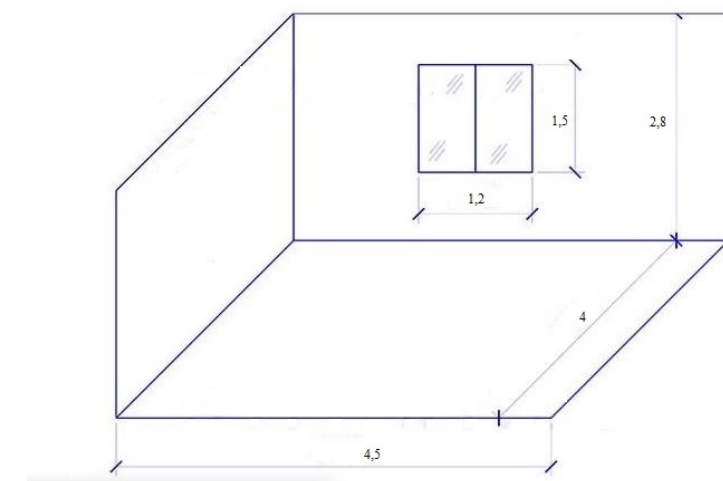


Рис. 1. Модель репрезентативного приміщення

В роботі також розглянуто термомодернізацію будівлі із дотриманням мінімально допустимих вимог до енергоефективності: проведено утеплення стіни шаром мінеральної вати товщиною 10 см та заміну вікон на сучасні. Розрахунок теплофізичних властивостей огорожень для моделювання проведено за стандартом ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [17] і наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Загальні характеристики огорожувальних конструкцій

Вид огорожувальної конструкції	Площа $A, \text{ м}^2$	Значення коефіцієнту теплопередачі огорожувальної конструкції	
		існуючої будівлі $U, \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{K})$	після термомодернізації $U_{\min}, \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{K})$
Зовнішня стіна	12,6	1,2	0,3
Внутрішня стіна	35	1,86	1,86
Вікно	1,8	2,94	1,33
Дах	18	0,47	0,2
Підлога	18	0,39	0,22

Опис моделі. В програмному середовищі Mathcad моделі розглядається стояк однокотувної системи опалення із замикаючою ділянкою, який проходить крізь однакові житлові приміщення п'ятиповерхового будинку. На основі рівнянь балансів теплових потоків для приміщень та опалювальних приладів для стаціонарних умов розв'язується система із 48 рівнянь. Для першого та п'ятого поверхів в якості зовнішніх горизонтальних огорожень розглядаються, відповідно, підлога та дах.

В рівнянні теплового балансу приміщень враховується: тепловий потік від опалювальних приладів (ОП), теплові втрати через зовнішні та внутрішні огороження, перекриття, підлогу та коефіцієнт затікання α .

Система рівнянь для приміщення внутрішнього (четвертого) поверху представлена нижче. Це система рівнянь теплового балансу: теплопередачі від приладу опалення до повітря у кімнаті (1), від кімнати назовні (2) та теплового потоку від води до опалювального приладу ОП (3), приєднаного до стояка однокотувної системи опалення (СО). Приймалося, що внутрішні тепло надходження у приміщенні відсутні.

$$Q = Q_p \cdot \left[\frac{\frac{t_{pod4} + t_{zvor}}{2} - t_{vn4}}{70} \right]^{1,3}$$

$$Q = m \cdot \alpha \cdot c \cdot (t_{pod4} - t_{zvor})$$

$$Q = Q_{zovn} + Q_{vn} + Q_{fl} + Q_{ceil} - Q_{dod} \quad (1-7)$$

$$Q_{zovn} = h_{zovn} \cdot (t_{vn4} - t_{zovn})$$

$$Q_{vn} = h_{vn} \cdot (t_{vn4} - t_{vn4 \exp})$$

$$Q_{fl} = h_{fl} \cdot (t_{vn4} - t_{vn3})$$

$$Q_{ceil} = h_{fl} \cdot (t_{vn4} - t_{vn5})$$

де Q_p – номінальний тепловий потік ОП при $\Delta t = 70^\circ\text{C}$, кВт/м²;

$\square t = \frac{t_{pod4} + t_{zvor}}{2}$ – середня температура ОП, $^\circ\text{C}$;

t_{pod4} – температура теплоносія на вході в ОП, $^\circ\text{C}$;

t_{zvor} – температура теплоносія на виході з ОП, $^\circ\text{C}$;

t_{vn4} – внутрішня температура повітря в приміщенні, $^\circ\text{C}$;

m – витрата теплоносія через стояк, кг/с;

α – коефіцієнт затікання;

$c = 4,183$ кДж/кг $\cdot^\circ\text{C}$ – питома теплоємність теплоносія (води);

$Q_{zovn}, Q_{vn}, Q_{fl}, Q_{ceil}$ – тепловтрати через зовнішні огороження, через бокові стіни до сусідніх приміщень, через підлогу та через стелю відповідно, кВт;

Q_{dod} – додаткові теплонадходження, кВт;

t_{zovn} – зовнішня температура повітря в приміщенні, $^\circ\text{C}$;

h – приведений коефіцієнт теплової провідності огорожень, визначається згідно характеристик огорожувальних конструкцій, наведених в таблиці 1, Вт/К.

Крім теплофізичних властивостей огорожень задавалися: зовнішня температура, температура на вході в систему опалення стояка будівлі відповідно температурного графіку:

$$t_{pod} = 18 + 64,5 \cdot k_{o,6}^{0,8} + 12,5 \cdot k_{o,6}, \quad (8)$$

де $k_{o,6} = \frac{t_{вн} - t_{зовн}}{t_{вн} - t_{p.o.}}$ – коефіцієнт зниження витрати теплоти на опалення та вентиляцію

залежно від температури зовнішнього повітря.

Характеристика приладів опалення визначалась із проектного розрахунку для внутрішньої температури 18°C , зовнішнього повітря $t_{зовн} = -22^{\circ}\text{C}$ [18] та відсутності внутрішніх та зовнішніх теплонаходжень при коефіцієнті затікання на всіх поверхах $\alpha = 0,5$, температура на вході/виході в стояк системи опалення $95/70^{\circ}\text{C}$.

Розроблена модель дає змогу визначити температуру теплоносія на вході та виході з опалювального приладу, тепловий потік від радіатора, теплові втрати через зовнішні огороження, перетоки через внутрішні огороження приміщень та внутрішню температуру повітря в приміщеннях різних поверхів з приладами опалення, приєднаними до одного стояка вертикальної однотрубною системи.

Результати моделювання.

В роботі проведено моделювання для розрахункових умов міста Київ при зовнішній температурі $t_{зовн} = -22^{\circ}\text{C}$ [18], а також серію моделювань для середніх умов для опалювального сезону $t_{зовн} = -0,1^{\circ}\text{C}$. Досліджується вплив місцевого регулювання системи опалення на 4 поверсі за допомогою регуляторів на опалювальних приладах при різних коефіцієнтах затікання, для різних зовнішніх умов, відповідних температур подачі води в стояк.

Сонячні теплонаходження не враховувались для виокремлення впливу кожної з складових, які досліджуються, і можливості співставлення їх при розрахункових та середніх зовнішніх умовах.

На рис. 2 представлено залежність зміни величини теплового потоку від опалювального приладу на 4-му поверсі залежно від коефіцієнту затікання α для розрахункової температури -22°C та зовнішній середній температурі для опалювального сезону $-0,1^{\circ}\text{C}$ з врахуванням внутрішніх перетоків в суміжні приміщення (Q), теплового потоку через зовнішні огороження ($Q_{зовн}$) та температури внутрішнього повітря в приміщенні $t_{вн}$. Для середніх зовнішніх умов температура води в подавальному трубопроводі на вході в прилад опалення

5-го поверху становить 58°C , визначеною за (8) відповідно для температурного графіку «95/70».

З рис. 2 слідує, що залежність теплового потоку від коефіцієнта затікання α має типову нелінійну залежність, що пояснюється показником ступеню 1,3 для чавунних радіаторів у рівнянні теплового потоку від опалювальних приладів. До малих коефіцієнтів затікання ($\alpha = 0 \dots 0,2$) тепловий потік більш чутливий, а при подальшому зростанні α – тепловий потік змінюється не суттєво. Для малих витрат теплоносія через опалювальний прилад температура внутрішнього повітря змінюється приблизно на 6°C для проектних умов та 3°C – для середніх умов. Зменшення температури в приміщенні призводить до зменшення тепловтрат $Q_{зовн}$ на 200 та 50 Вт, відповідно. Подальше збільшення витрати теплоносія ($\alpha = 0,5 \dots 1$) не має суттєвого впливу на тепловий потік від приладу опалення та температуру внутрішнього повітря. Для двотрубних систем опалення характерним є робота на зменшених витратах теплоносія через опалювальний прилад, для однотрубних – характерним є робота зі збільшеними коефіцієнтами затікання.

На рис. 3 показано залежність зміни величини теплового потоку від опалювального приладу 4-го поверху в будівлі існуючого стану та після утеплення залежно від внутрішньої температури в приміщенні для розрахункової температури -22°C та середній температурі опалювального сезону $-0,1^{\circ}\text{C}$ з врахуванням внутрішніх перетоків в суміжні приміщення та

без, останнє значення відповідає тепловим втратам через зовнішні огороження (Q_{zovn}) при відповідній температурі внутрішнього повітря.

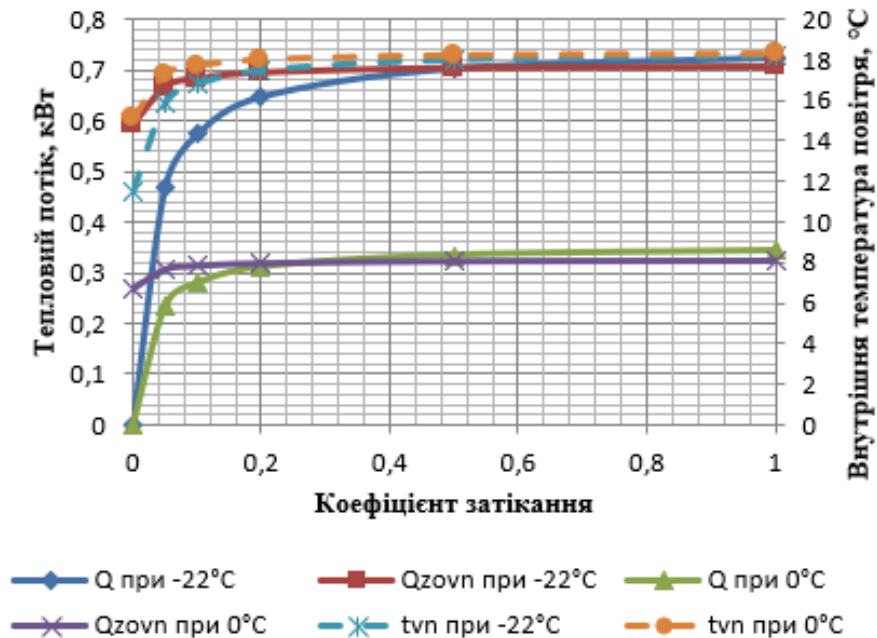


Рис. 2. Величина теплового потоку від опалювального приладу 4 поверху та температури повітря в приміщенні при різних коефіцієнтах затікання α

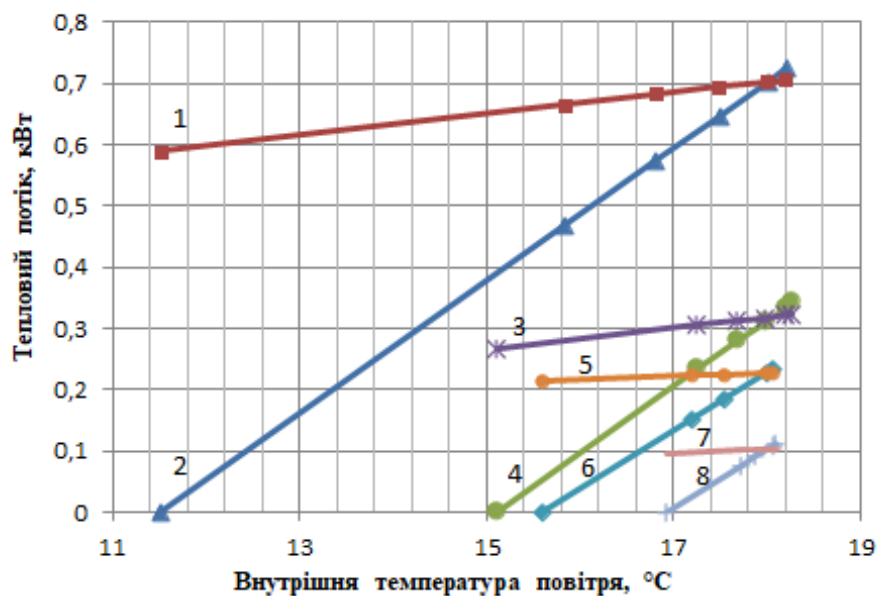


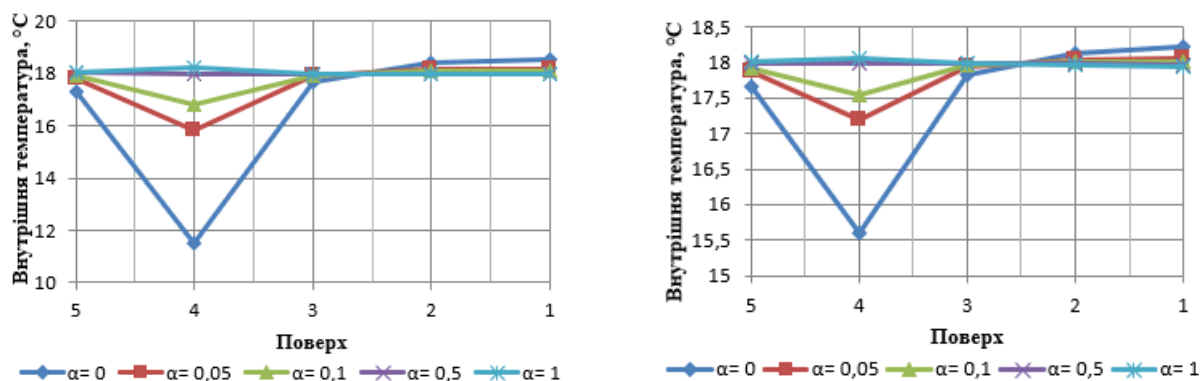
Рис. 3. Величина теплового потоку від опалювального приладу 4 поверху та температури повітря в приміщенні при різних коефіцієнтах затікання α

1, 5 – тепловий потік із врахуванням перетоку при $t_{zovn} = -22^{\circ}\text{C}$ для існуючої і будівлі після модернізації, відповідно; 4, 8 – те саме, при $t_{zovn} = -0,1^{\circ}\text{C}$; 2, 6 – тепловий потік від опалювального приладу при $t_{zovn} = -22^{\circ}\text{C}$ для існуючої і будівлі після модернізації, відповідно; 3, 7 – те саме, при $t_{zovn} = -0,1^{\circ}\text{C}$

З рис. 3 слідує, що при повному відключенні приладів опалення температура внутрішнього повітря при $t_{\text{зовн}} = -22^\circ\text{C}$ в приміщенні 4-го поверху утепленої будівлі більша за температуру в неутепленій. Тобто в даній ситуації, при $t_{\text{зовн}} = -22^\circ\text{C}$ вплив внутрішніх перетоків значно більший, ніж при середній температурі опалювального сезону $-0,1^\circ\text{C}$.

Регулювання опалювальних приладів може зменшити теплові втрати до 15%, при цьому внутрішня температура повітря в приміщенні може підтримуватись в значній мірі за допомогою перетоків через зовнішні огороження. Зниження температури при регулюванні залежить від рівня теплового захисту і може становити від 30% до 15%.

На рис. 4 наведена залежність зміни температури повітря для різних поверхів за умови різних коефіцієнтів затікання на 4-му поверсі 5-ти поверхової будівлі з верхнім розведенням опалювальних приладів.



а) існуючий стан

б) після утеплення

* наведені коефіцієнти α характерні для 4 поверху, на інших поверхах відповідають проектному значенню $\alpha=0,5$

Рис. 4. Поповерховий розподіл внутрішньої температури повітря в приміщенні при різних коефіцієнтах затікання для $t_{p.o.} = -22^\circ\text{C}$

Повне відключення опалювального приладу на 4-му поверсі призводить до зниження температури на цьому поверсі до $11,5^\circ\text{C}$ (рис. 4,а), цей рівень підтримується за рахунок перетоків тепла з сусідніх приміщень через внутрішні стіни, підлогу та стелю. Це в свою чергу призводить до зниження температури опалення в кімнатах 5-го та 3-го поверхів, при відсутності регулювання в них, за рахунок трансмісійних перетоків на 4-й поверх та збільшення температури на нижніх поверхах до $0,5^\circ\text{C}$ за рахунок підвищення температури теплоносія на вході в прилади опалення.

При коефіцієнті затікання $0,05 \dots 0,2$ внутрішня температура повітря на 4-му поверсі коливається в межах $16 \dots 17,5^\circ\text{C}$, а на інших поверхах відчутної зміни температури повітря не спостерігається. Подальше збільшення коефіцієнту затікання $0,5 \dots 1$ суттєвого ефекту не дає, адже призводить до зміни температури повітря на цьому поверсі до $0,1 \dots 0,2^\circ\text{C}$. Рис.4,б показує, що утеплення будівлі призводить до зменшення пониження температури повітря в приміщенні 4-го поверху для аналогічних умов регулювання. Проведено оцінку перетоків тепла між сусідніми приміщеннями в умовах подібного регулювання при $t_{\text{зовн}} = -0,1^\circ\text{C}$.

На рис. 5 представлено величину тепловтрат через огорожуючі конструкції на 4-му поверсі залежно від коефіцієнту затікання α для розрахункової температури -22°C .

Висновки. В роботі створена імітаційна модель житлової будівлі з однотрубною системою опалення 5-ти поверхової типової будівлі масової забудови в програмному середовищі Mathcad для теплофізичних властивостей огорожень будівлі 80-х років ХХ століття та після її термомодернізації до сучасних вимог.

Проведено дослідження впливу локального регулювання однотрубною системою опалення з замикаючими ланками на основі імітаційної моделі для проектних/розрахункових та середніх для опалювального сезону температур зовнішнього повітря – до та після теплової модернізації будівлі в умовах теплової взаємодії приміщення з прилеглими зонами будівлі. Надано оцінку можливих додаткових витрат на опалення за рахунок перетоків через внутрішні огороження при регулюванні рівня температури внутрішнього повітря в сусідніх приміщеннях.

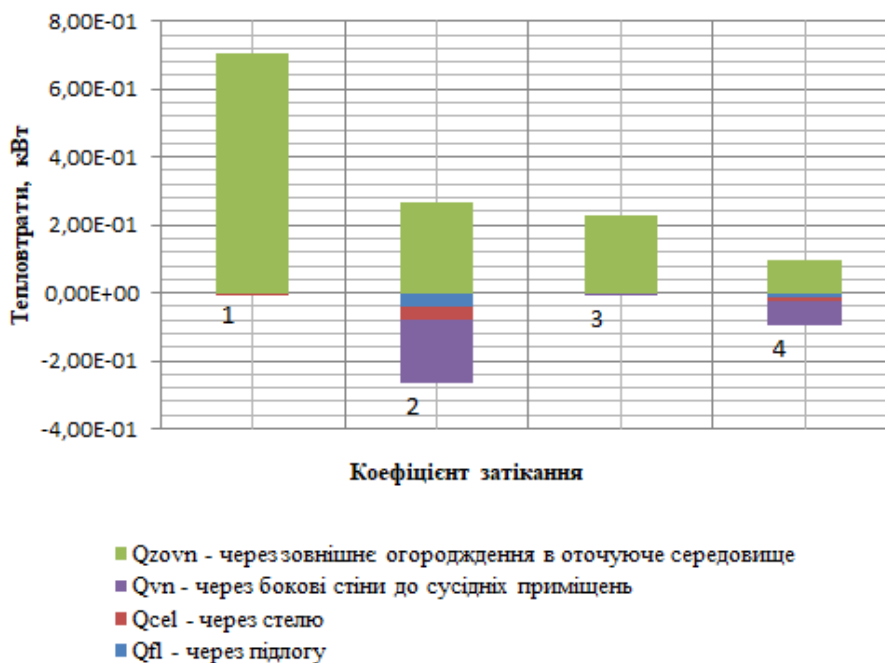


Рис. 5. Величина тепловтрат через огорожуючі конструкції для 4-го поверху при різних коефіцієнтах затікання α

1,3 – при $t_{зовн} = -22^\circ\text{C}$ для існуючого стану будівлі та після модернізації, відповідно, із базовим коефіцієнтом затікання ($\alpha = 0,5$); 2, 4 – те саме, при $\alpha = 0$

Досліджено внутрішні перетоки тепла в суміжні приміщення, зміну внутрішньої температури повітря під впливом зміни коефіцієнтів затікання в опалювальний прилад 4-го поверху та поповерховий розподіл температур в приміщеннях при розрахунковій температурі -22°C .

Розроблені підходи, отримані результати по впливу локального регулювання приладів вертикальних однотрубних систем опалення можуть бути використані при уточненні розподілу споживання енергії на опалення між окремими зонами багатоквартирних будинків.

В подальших дослідженнях планується дослідити вплив експлуатаційно-поведінкових особливостей мешканців на енергоспоживання будівель з врахуванням внутрішніх та сонячних теплонадходжень в зону кімнати.

References

1. Official website of DAEE (State Agency for Energy Efficiency). URL: <http://saee.gov.ua> [in Ukrainian].
2. Hepbasli, A. (2012). Low exergy (LowEx) heating and cooling systems for sustainable buildings and societies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16, P. 73–104.

Література

1. Офіційний сайт ДАЕЕ (Держенергоефективності). URL: <http://saee.gov.ua>.
2. Hepbasli A. Low exergy (LowEx) heating and cooling systems for sustainable buildings and societies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2012. Vol. 16. P. 73–104.

3. Deshko, V. I., Bilous, I. Iu., Maksymenko, O. E. (2019). Suchasni problemy systemy opalennia bahatokvartyrnykh zhytlovykh budynkiv [Modern problems of the heating system of apartment buildings]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii = Technical sciences and technologies*, No. 1, P. 267–277. URL: <https://tst.stu.cn.ua/?l=ua>.
4. Pro enerhetychnu efektyvnist budivel: Zakon Ukrainy № 2118-VIII [On energy efficiency of buildings: Law of Ukraine]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text> [in Ukrainian].
5. Lavinska, Z., Sanytska, O. (2009). Cotsialno-ekolohichni aspekty enerhozberezhennia v zhytlovo-komunalnomu sektori. *GEODESY, ARCHITECTURE & CONSTRUCTION 2009 (GAC-2009)*, 14–16 MAY 2009, LVIV, UKRAINE. P. 75–77.
6. Dolinskyi, A. A., Basok, B. I. et al. (2007). Komunalna teploenerhetyka Ukrainy: stan, problemy, shliakhy modernizatsii [Communal heat energy of Ukraine: state, problems, ways of modernization]. Kyiv: ITTTF. 828 p. [in Ukrainian].
7. Pro skhvalennia Kontseptsii vprovadzhennia mekhanizmiv stabilnoho finansuvannia zakhodiv z enerhoefektyvnosti (stvorennia Fondu enerhoefektyvnosti) [About approval of the Concept of introduction of mechanisms of stable financing of measures on energy efficiency (creation of Fund of energy efficiency)]. URL: <http://www.kmu.gov.ua> [in Ukrainian].
8. DSTU-N B V.3.2-3:2014 Nastanova z vykonannia termomodernizatsii zhytlovykh budynkiv [Guidelines for thermal modernization of residential buildings] [in Ukrainian].
9. Deshko, V. I., Bilous, I. Iu., Maksymenko, O. M. (2018). Analiz tochkovoi indyvidualnoi termosanatsii ohorodzhuiuchykh konstruksii bahatokvartyrnykh zhytlovykh budynkiv [Analysis of point individual thermal rehabilitation of enclosing structures of apartment buildings]. *Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia = Energy: economics, technology, ecology*, No. 4, P. 7–13. URL: <http://energy.kpi.ua/article/view/164428/163453> [in Ukrainian].
10. Deshko, V. I., Bilous, I. Iu., Buiak, N. A., Hurieiev, M. V. (2020). Otsiniuvannia dynkamyky enerhopotreby budivel masovoi zabudovy z urakhuvanniam ekserhetychnoi modeli teplovoho komfortu [Estimation of dynamics of energy consumption of buildings of mass construction taking into account exergetic model of thermal comfort]. *Enerhetyka ta avtomatyka = Energy and automation*, № 1, Article 77 [in Ukrainian].
11. Yan, D., O'Brien, W., Hong, T., Feng, X., Burak Gunay, H., Tahmasebi, F., Mahdavi, A. (2015). Occupant behavior modeling for building performance simulation: Current state and future challenges. *Energy and Buildings*,
3. Дешко В. І., Білоус І. Ю., Максименко О. Е. Сучасні проблеми системи опалення багатоквартирних житлових будинків. *Технічні науки та технології*. 2019. № 1. С. 267–277. URL: <https://tst.stu.cn.ua/?l=ua>.
4. Про енергетичну ефективність будівель: Закон України № 2118-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text>.
5. Лавінська З., Саницька О. Соціально-екологічні аспекти енергозбереження в житлово-комунальному секторі. *GEODESY, ARCHITECTURE & CONSTRUCTION 2009 (GAC-2009)*, 14–16 MAY 2009, LVIV, UKRAINE. P. 75–77.
6. Долінський А. А., Басок Б. І. та ін. Комунальна теплоенергетика України: стан, проблеми, шляхи модернізації. К.: ІТТТФ, 2007. 828 с.
7. Про схвалення Концепції впровадження механізмів стабільного фінансування заходів з енергоефективності (створення Фонду енергоефективності). URL: <http://www.kmu.gov.ua>.
8. ДСТУ-Н Б В.3.2-3:2014 Настанова з виконання термомодернізації житлових будинків.
9. Дешко В. І., Білоус І. Ю., Максименко О. М. Аналіз точкової індивідуальної термосанації огорожувачих конструкцій багатоквартирних житлових будинків. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2018. № 4. С. 7–13. URL: <http://energy.kpi.ua/article/view/164428/163453>.
10. Дешко В. І., Білоус І. Ю., Буяк Н. А., Гурєєв М. В. Оцінювання динаміки енергопотребі будівель масової забудови з урахуванням ексергетичної моделі теплового комфорту. *Енергетика та автоматика*. 2020. № 1. Ст. 77.
11. Yan D., O'Brien W., Hong T., Feng X., Burak Gunay H., Tahmasebi F., Mahdavi A. Occupant behavior modeling for building performance simulation: Current state and

Vol. 107, P. 264–278. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.08.032>.

12. Hong, T., Taylor-Lange, S. C., D'Oca, S., Yan, D., Corgnati, S. P. (2016). Advances in research and applications of energy-related occupant behavior in buildings. *Energy and Buildings*, Vol. 116, P. 694–702. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.11.052>.

13. Agee, P., et al. (2021). A human-centred approach to smart housing. *Build. Res. Inf.*, 49 (1): 84–99.

14. Redko, I., Ujma, A., Redko, A., Pavlovskiy, S., Redko, O., Burda, Y. (2021). Energy efficiency of buildings in the cities of Ukraine under the conditions of sustainable development of centralized heat supply systems. *Energy and Buildings*. 2021. Vol. 247, 110947. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110947>.

15. Park, J. Y., Ouf, M. M., Gunay, B., Peng, Y., O'Brien, W., Kjærgaard, B. M., Nagy, Z. (2019). A critical review of field implementations of occupant-centric building controls. *Building and Environment*. 2019. Vol. 165. 106351. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106351>.

16. Azar, E., O'Brien, W., Carlucci, S., Hong, T., Sonta, A., Kim, J., Andargie, M. S., Abuimara, T., El Asmar, M., Jain, R. K., Ouf, M. M., Tahmasebi, F., and Zhou, J. (2020). Simulation-aided occupant-centric building design: A critical review of tools, methods, and applications. *Energy and Buildings*. 2020. Vol. 224. 110292. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110292>.

17. DSTU B A.2.2-12:2015. Enerhetychna efektyvnist budivel. Metod rozrakhunku enerhospozhyvannia pry opalenni, okholodzhenni, ventyliatsii, osvittleni ta hariachomu vodopostachanni [Energy efficiency of buildings. Method of calculating energy consumption for heating, cooling, ventilation, lighting and hot water supply]. Introduced for the first time; effective from 01.01.2015. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 2016. 205 p. [in Ukrainian].

18. DSTU-N B V.1.1-27:2010 Budivelnia klimatolohiia [Construction climatology] [in Ukrainian].

future challenges. *Energy and Buildings*. 2015. Vol. 107. P. 264–278. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.08.032>.

12. Hong T., Taylor-Lange S. C., D'Oca S., Yan D., Corgnati S. P. Advances in research and applications of energy-related occupant behavior in buildings. *Energy and Buildings*. 2016. Vol. 116. P. 694–702. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.11.052>.

13. Agee P. et al. A human-centred approach to smart housing. *Build. Res. Inf.* 2021. No. 49 (1). P. 84–99.

14. Redko I., Ujma A., Redko A., Pavlovskiy S., Redko O., Burda Y. Energy efficiency of buildings in the cities of Ukraine under the conditions of sustainable development of centralized heat supply systems. *Energy and Buildings*. 2021. Vol. 247, 110947. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110947>.

15. Park J. Y., Ouf M. M., Gunay B., Peng Y., O'Brien W., Kjærgaard B. M., Nagy Z. A critical review of field implementations of occupant-centric building controls. *Building and Environment*. 2019. Vol. 165. 106351. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106351>.

16. Azar E., O'Brien W., Carlucci S., Hong T., Sonta A., Kim J., Andargie M. S., Abuimara T., El Asmar M., Jain R. K., Ouf M. M., Tahmasebi F., Zhou J. Simulation-aided occupant-centric building design: A critical review of tools, methods, and applications. *Energy and Buildings*. 2020. Vol. 224. 110292. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110292>.

17. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. Уведений вперше; чинний від 2015.01.01. К.: Мінрегіонбуд України, 2016. 205 с.

18. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Будівельна кліматологія.

DESHKO VALERII

D. Sc. (Tech), Professor

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-8218-3933>

Scopus Author ID: 6506189670

ResearcherID: J-6517-2017

E-mail: te@kpi.ua

MAKSYMENKO OLEKSANDRA

Assistant,

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine

<http://orcid.org/0000-0003-4099-2772>

E-mail: aleksalekonceva94@gmail.com

BILOUS INNA

PhD (Tech.), Associate Professor, Head of Department
of Heat Engineering and Energy Saving,
National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine
<http://orcid.org/0000-0002-6640-103x>
Scopus Author ID: 57194104035
ResearcherID: J-7070-2017
E-mail: biloys_inna@ukr.net

ДЕШКО В. И., БИЛОУС И. Ю., МАКСИМЕНКО О. Э.

Национальный технический университет Украины

"Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского", Украина

ВЛИЯНИЕ МЕСТНОГО ПОКВАРТИРНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ ЖИЛЫХ ДОМОВ НА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ

Цель. Анализ распределения расхода тепловой энергии на отопление типовых жилых зданий до и после термомодернизации с учетом местного поквартирного регулирования, а также исследование влияния перетоков теплоты между смежными зонами (квартирами).

Методика. В работе проведено исследование регулирования распределения отопления однотрубной системы с замыкающими зонами 5-ти этажного жилого здания массовой застройки 80-х годов до и после термомодернизации на основе имитационной модели созданной в программной среде Mathcad для проектных/расчетных и средних условий.

Результаты. Исследовано влияние внутренних перетоков тепла в смежные помещения, изменение внутренней температуры воздуха под влиянием локального изменения коэффициентов затекания в отопительный прибор.

Научная новизна. Показано влияние и ограничение локального регулирования отопления вертикальных однотрубных систем в условиях теплового взаимодействия помещения с близлежащими зонами здания до и после тепловой модернизации. Дана оценка возможных дополнительных затрат на отопление за счет перетоков через внутренние ограждения при регулировании уровня температуры внутреннего воздуха в соседних помещениях.

Практическая значимость. Разработанные подходы и полученные результаты по влиянию локальной регулировки приборов вертикальных однотрубных систем отопления, могут быть использованы при уточнении распределения потребления энергии на отопление между отдельными зонами многоквартирных домов.

Ключевые слова: энергосбережение; внутренняя температура; регулирование и расход энергии на отопление; жилые здания; моделирование.

DESHKO V. I., BILOUS I. Y., MAKSYMENKO O. E.

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine

INFLUENCE OF LOCAL APARTMENT REGULATION OF HOUSEHOLD HEATING SYSTEMS ON ENERGY CONSUMPTION

Target. Analysis of the distribution of thermal energy costs for heating typical buildings before and after thermal modernization, taking into account local apartment-by-apartment regulation, as well as a study of the impact of heat flows between adjacent areas (apartments).

Methodology. Analysis of the distribution of thermal energy costs for heating typical buildings before and after thermal modernization, taking into account local apartment-by-apartment regulation, as well as a study of the impact of heat flows between adjacent areas (apartments).

Results. The influence of internal heat flows to adjacent rooms, change of internal air temperature under the influence of local change of flow coefficients in the heater is investigated.

Scientific novelty. The influence and limitations of local heating control of vertical single-pipe systems in the conditions of thermal interaction of the room with adjacent areas of the building before and after thermal modernization of the building are shown.

Practical significance. Developed approaches, the results obtained on the influence of local control of vertical single-pipe heating systems can be used to clarify the distribution of energy consumption for heating between individual areas of apartment buildings.

Keywords: energy saving; internal temperature; regulation and energy consumption for heating; residential buildings; modeling.