

© В.Є. Колесник¹, А.В. Павличенко¹, І.В. Монюк¹

¹ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

ОЦІНКА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧОГО ТА ЕКОЛОГІЧНОГО ЕФЕКТИВ В СИСТЕМІ «КОТЕЛЬНЯ – СПОЖИВАЧІ ТЕПЛА – ДОВКІЛЛЯ» ВІД УТЕПЛЕННЯ ЗОВНІШНІХ СТІН БУДИНКІВ

© V. Kolesnyk¹, A. Pavlychenko¹, I. Moniuk¹

¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

ASSESSMENT OF RESOURCE-SAVING AND ENVIRONMENTAL EFFECTS IN THE SYSTEM «BOILER ROOM – HEAT CONSUMERS – ENVIRONMENT» FROM INSULATION OF EXTERNAL WALLS OF HOUSES

Мета. Оцінка рівня збереження ресурсів та ступеня зниження екологічної небезпеки викидів в системі «котельня – споживачі тепла – довкілля» за рахунок впровадження технології утеплення зовнішніх стін міських багатоповерхових будинків.

Методика дослідження базується: на визначенні температур не утеплених і утеплених поверхонь зовнішніх стін типового 5-ти поверхового будинку шарами теплоізолюючого матеріалу портативним радіаційним пірометром; побудові кореляційних залежностей температур утеплених і не утепленої поверхонь стіни в опалювальному сезоні у вигляді рівнянь регресії; порівняльній оцінці втрат тепла указаними поверхнями шляхом випромінювання; оцінюванні енергоекологічних показників указаної технології утеплення.

Результати дослідження. За результатами виконаних пірометричних вимірювань визначені достовірні величини зниження втрат тепла з поверхонь стін п'ятиповерхового цегляного будинку, фрагментарно утеплених зовні шарами пінопласту товщиною 5 та 10 см, що порівняно з цегляною поверхнею склали в середньому 6,34 кВт на кожні 1000 м² утепленої поверхні, а у відносних величинах – близько 2%. Причому зазначене відносне зниження стосується не тільки втрат тепла, але й величин витрат палива, викидів забруднюючих речовин та відповідних індексів, визначених попередньо без урахування утеплення, що дозволяє оцінити рівні зниження указаних показників та ресурсозберігаючий і екологічний ефект від впровадження технології утеплення.

Наукова новизна. Полягає у виявленні закономірностей зміни температури не утеплених поверхонь стін будинку та відповідних змін температури утеплених зовні шарами теплоізоляційного матеріалу, що дозволило, визначити відмінності у величинах втрат тепла зазначеними поверхнями та визначити їх натуральні й відносні значення, які використані у розрахунках енергоекологічних показників в системі «котельня – споживачі тепла – довкілля», обумовлених впровадженням технології утеплення.

Практичне значення. Визначені відносні величини зниження втрат тепла в результаті застосування утеплювачів зовнішніх стін будинків пропонуються використовувати при прогнозуванні або проектуванні енергоекологічних показників, необхідних для обґрунтування масового впровадження технології утеплення міських багатоповерхових будинків.

Ключові слова: ресурсозбереження в системах теплопостачання, викиди забруднюючих речовин котельнями, екологічна небезпека викидів котелень, енергоефективність котлоагрегатів.

Вступ. Міські підприємства теплових мереж забезпечують подачу тепла й гарячої води в житлові та адміністративні райони. У кожному районі міста, наприклад, з мільйонним населення, налічується від 4 до 8 централізованих котелень, що працюють переважно на природному газі та цілий ряд котелень меншої потужності. Незважаючи на те, що газ є відносно екологічно небезпечним паливом, порівняно з іншими видами, в атмосферу викидається значна кількість забруднюючих речовин, включаючи оксиди азоту й вуглецю та важкі метали, зокрема ртуть (Hg), що погіршує екологічну обстановку в районах. При цьому існуючий облік фактичної кількості забруднюючих речовин, що котельні викидають в атмосферу разом з димовими газами, заснований на розрахункових даних викидів типовими котлоагрегатами, що осереднюються за квартал переважно для визначення лише розмірів платежів відповідно встановлених податків на викиди.

Очевидно, що розміри платежів за викиди забруднюючих речовин в атмосферу можуть при сталому податку на викиди виступати певною мірою зниження екологічної безпеки та енергоефективності міських котелень. Проте котельня є лише однією ланкою в системі «котельня – споживачі тепла – довкілля», в якій відбуваються зміни техногенного і природного характеру, що впливають на рівні ресурсозбереження та екологічної безпеки на територіях розташування міських котелень. Так, у ланці «споживачі тепла» поширилося застосування технологій, спрямованих на збереження тепла у житлових і адміністративних будинках. Проте їх масове впровадження потребує оцінювання ресурсозберігаючої і екологічної ефективності таких технологій, що є певною проблемою [1-3].

Між тим, авторами в роботі [4] на основі виявлених закономірностей впливу температури атмосферного повітря на споживання палива котельнями та їхні викиди було запропоновано удосконалений розрахунковий метод, що забезпечує оперативне визначення поточних викидів міських котелень за добовими витратами палива впродовж усього опалювального сезону з одночасною оцінкою показників енергоефективності котлоагрегатів та ступеня екологічної безпеки їх викидів в атмосферу.

Суть методу полягає у використанні запровадженого авторами показника (індексу K), який одночасно характеризує кратність перевищення поточних витрат палива та відповідних поточних викидів забруднюючих речовин котельнею відносно їх відлікових (опорних) значень. Останні розраховують одноразово на початку опалювального сезону при температурі атмосферного повітря 8°C . Далі шляхом множення індексу K , що відповідає певній добовій витраті палива, на опорні значення викидів і пропонується оперативно розраховувати добову емісію кожної забруднюючої речовини в умовах конкретної котельні.

Крім того, запроваджений індекс K дозволяє оцінювати ефективність впровадження в системі «котельня – споживачі тепла – довкілля», як ресурсозберігаючих технологій, так і технологій захисту атмосфери від викидів, за рівнем зниження вказаного індексу, порівняно з його попереднім значенням в аналогічних умовах. Отже на основі запропонованої методики з'явилася можливість оперативно оцінювати ефективність усіх технологій, що впроваджуються в вказаній си-

стемі для збереження ресурсів, зокрема палива, та захисту атмосфери від викидів, в тому числі і від технологій, спрямованих на збереження тепла у житлових і адміністративних будинках [5].

Постановка задачі і методика дослідження. Серед технологій, спрямованих на збереження тепла, в житлових будинках, що забезпечуються теплом від міських котелень, як приватна ініціатива мешканців, набула популярності технологія утеплення окремих квартир за рахунок покриття зовнішніх стін теплоізолюючим матеріалом у вигляді шару пінопласту чи іншого полімерного пористого матеріалу. Указана технологія носить фрагментарний характер, отже для оцінки очікуваного ефекту від масового централізованого впровадження цієї ресурсозберігаючої технології шляхом утеплення усіх стін окремого будинку із автономною котельнею або будинків певного мікрорайону важливо спочатку оцінити очікувану економію тепла від утеплення будинків, а потім вже й зниження споживання палива котельнею. Далі, маючи рівень зменшення витрати палива, є можливість визначити рівень зменшення викидів забруднюючих речовин в атмосферу та ступінь зниження їх екологічної небезпеки, за методикою, запропонованою авторами в роботі [4], тобто в кінцевому результаті оцінити ресурсозберігаючий і екологічний ефект впровадження технології утеплення будинків. Тому авторами ставилося завдання оцінки ресурсозберігаючого та екологічного ефектів в системі «котельня – споживачі тепла – доквілля» від впровадження технології утеплення зовнішніх стін багатопверхових будинків шарами теплоізоляційного матеріалу. Вирішення цього завдання виконувалося на прикладі певного будинку, де вже здійснено покриття окремих ділянок зовнішніх стін шарами пінопласту за методикою, що базувалася на визначенні температур не утеплених і утеплених поверхонь зовнішніх стін типового 5-ти поверхового будинку шарами теплоізолюючого матеріалу портативним радіаційним пірометром; побудові кореляційних залежностей температур утеплених і не утепленої поверхонь стіни в опалювальному сезоні у вигляді рівнянь регресії; порівняльній оцінці втрат тепла указаними поверхнями шляхом випромінювання; оцінюванні енергоекологічних показників указаної технології утеплення.

Основні результати. Для експериментального дослідження температур не утеплених і утеплених поверхонь зовнішніх стін будинку, з подальшою оцінкою збереженого тепла, було обрано типовий 5-ти поверховий будинок з білої цегли в Центральному районі м. Дніпро. На його стінах мешканцями окремих квартир фрагментарно за допомогою приватних будівельних фірм були накладені утеплювачі з шарів пінопласту товщиною 5 або 10 см. (рис. 1). Саме там і проводилися теплові вимірювання.

Методика теплових вимірювань базувалася на використанні портативного пірометра з лазерним покажчиком області визначення радіаційної температури певної поверхні. Паспортна похибка вимірювання температури приладом складала $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$.

Дослідження температур проводилося у грудні-січні місяці 2019-2020 р.р. у похмурі дні за відсутністю вітру. Це дозволило виключити вплив прямої сонячної радіації на температуру поверхонь [6]. При цьому температуру цегляної й

утепленої поверхонь вимірювали пірометром попарно, тобто по черзі з обох боків границі утеплювача, як показано на рис. 2.



Рис. 1. Вигляд фрагментарних утеплювачів товщиною 5 см (ліворуч) та 10 см (праворуч) на цегляній стіні будинку

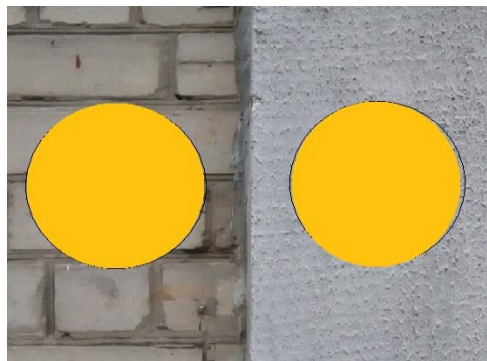


Рис. 2. Схема сканування поверхні цегляної стіни й утеплювача пірометром з лазерним укажчиком

На рисунку позначені зони сканування температури округлої форми, що виконувались за допомогою лазерного укажчика. Діаметри зон склали 20-30 см, залежно від відстані пірометра до поверхні, що зазвичай становила 1-2 м та не перевищувала 4-5 м при вимірах на другому поверсі будинку. Всього впродовж близько 40 днів було виконано до 60 парних вимірювань в діапазоні температур від +10 до -8°C. Зазначимо, що послідовні попарні вимірювання дозволили мінімізувати похибку визначення температур суміжних поверхонь.

Як допоміжний захід, в день вимірювань проводилася орієнтовна оцінка температури атмосферного повітря за показаннями цифрового термометра (без дробових значень, тобто з похибкою $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$), розміщеного стаціонарно в районі розташування будинку. Це дозволило отримати насамперед оцінку залежність радіаційної температури поверхні цегляної стіни від температури атмосферного повітря [6]. Вимірювання проводилися в різних зонах стіни, що межували з утеплювачами. Результати наведені на рис. 3.

Як видно з рис. 3, лінійна регресійна залежність має нахил, тангенс кута якого склав 0,891, тобто в цілому радіаційна температура цегляної стіни будинку близька до температури атмосферного повітря і слідує за нею в дослідженому діапазоні температур від +10 до -8°C.

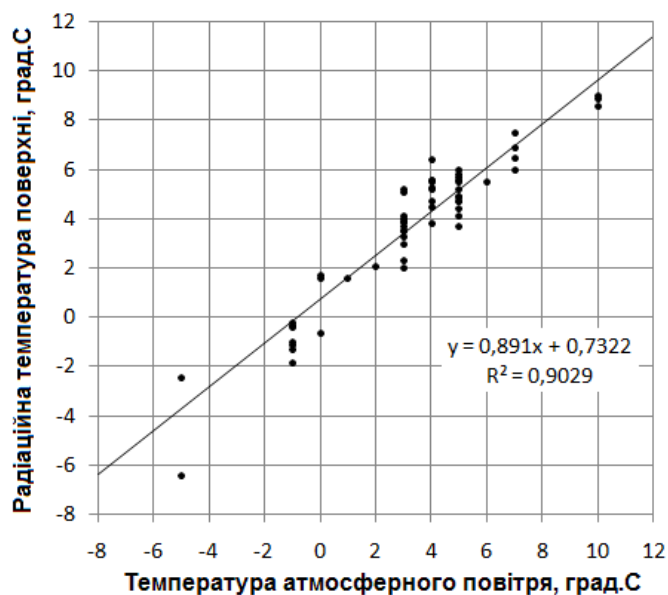


Рис. 3. Залежність радіаційної температури поверхні цегляної стіни від температури атмосферного повітря

Зауважимо, що дисперсія даних навколо лінійного тренду обумовлена приблизним визначенням температури атмосфери та ймовірно різними умовами обігріву внутрішніх стін квартир в зонах зовнішнього сканування цегляної стіни пірометром. Тому отримана залежність, хоч і має оцінний характер, проте дозволяє зробити деякі висновки. Так, на початку опалювального сезону аналізовані температури практично співпадають (область близько 8°C). З похолоданням температура стіни будинку поступово перевищує атмосферну, очевидно за рахунок подачі в квартирні батареї більш нагрітої води. При цьому за даними усіх виконаних спостережень середня температура атмосферного повітря склала приблизно 3,19°C, а цегляної стіни – 3,57°C, тобто в середньому цегляна стіна має температуру більшу за атмосферну, приблизно на 0,4°C, отже віддає тепло у навколишнє середовище, що є очікуваним.

Важливо зазначити, що температури зовнішніх поверхонь будинку, на відміну від температури атмосфери, визначались достатньо точним пірометром тому далі вирішувалася задача виявлення різниці між показаннями температури, отриманими саме цим приладом для утепленої і не утепленої поверхонь стіни з подальшою оцінкою збереженого тепла. Для цього за даними парних вимірювань будувались порівняльні регресійні залежності температур поверхонь утеплювачів від температури поверхні цегляної стіни, що природно змінювалася впродовж досліджень. Результати подані у вигляді лінійних трендів точкових значень з відповідними рівняннями регресії на рис. 4.

Примітно, що наведені регресійні залежності мають високу достовірність, оцінену параметром R^2 , що склав 0,9667 і 0,9847 – відповідно для рядів 1 і 2 точкових значень температур, що підтверджує достатньо високу достовірність виконаних пірометричних вимірювань.

Порівняльний аналіз наведених на рис. 4 залежностей показує, що температури поверхонь утеплювачів слідують за температурою поверхні цегляної стіни,

але виявилися дещо нижчими від температур поверхні цегли, тобто відповідні лінійні тренди проходять нижче пунктирної лінії. Це цілком очікувано, оскільки утеплювач дійсно перешкоджає перетоку тепла з нагрітого будинку в атмосферу. В результаті, поверхня утеплювача має температуру нижчу за цегляну, причому утеплювач більшої товщини забезпечує більшу різницю температур у дослідженому діапазоні, що теж цілком очікувано. Так, при температурі цегляної стіни 8°C температури поверхонь утеплювачів товщиною 5 і 10 см виявилися нижчими приблизно на 1°C та $1,35^{\circ}\text{C}$, відповідно. Зі зниженням температури цегляної поверхні стіни до 0°C різниці температур поверхонь утеплювачів дещо зростають. Їх температури легко визначити, оскільки вони чисельно дорівнюють вільним членам відповідних рівнянь регресії, наведених на рис. 4. Отже температури поверхонь утеплювачів відповідно склали $-1,4558$ та $-1,6174^{\circ}\text{C}$, тобто набули за шкалою Цельсія навіть негативних значень.

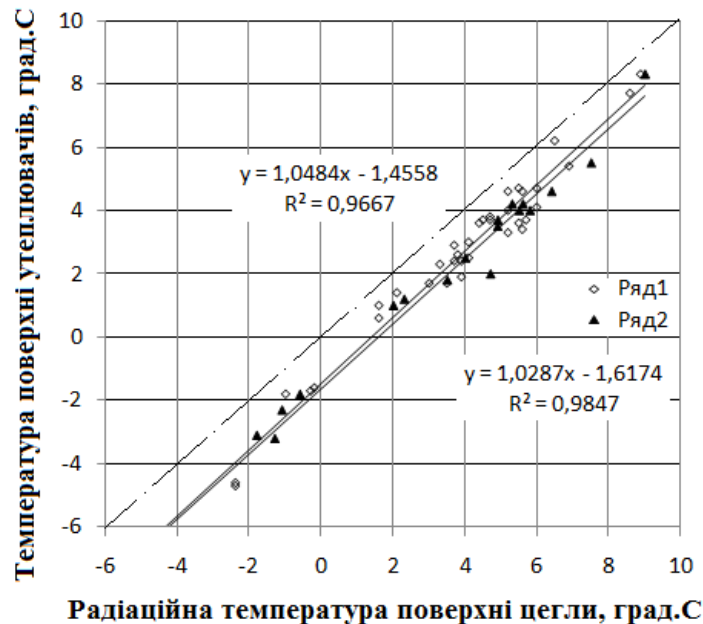


Рис. 4. Залежності температур поверхонь утеплювачів від температури поверхні цегли, визначених пірометром: ряд 1 (лінійний тренд і відповідне рівняння регресії зверху) – для утеплювача товщиною 5 см; ряд 2 (відповідні атрибути знизу) – для утеплювача товщиною 10 см; пунктирна лінія з тангенсом куту нахилу 1 – графік рівняння температури поверхні цегли.

Для подальшого достовірного визначення обсягів збереженого тепла, отриманих за рахунок утеплення стін будинку, доцільно орієнтуватися на середню температуру поверхні його цегляної стіни, визначеною за період проведених досліджень, що, як зазначено вище, склала $3,57^{\circ}\text{C}$. Цій осередненій температурі відповідають температури поверхонь утеплювачів товщиною 5 та 10 см, а саме: $2,287^{\circ}\text{C}$ та $2,055^{\circ}\text{C}$, що визначені за указаними на рис. 4 рівняннями регресії, відповідно. Залишається визначити та порівняти втрати тепла не утеплених і утеплених поверхонь стіни при указаних температурах. При цьому вважатимемо, що

тепло втрачається нагрітими поверхнями лише за рахунок радіаційного охолодження, тобто за рахунок теплового випромінювання без урахування конвективного теплообміну з атмосферою, яким можна нехтувати, зважаючи на те, що дослідження проводилися похмурі дні за умов відсутності вітру, коли конвекція мінімальна [6].

Обсяги втрати тепла радіаційним шляхом з кожного квадратного метру нагрітої стіни будинку оцінимо за формулою закону Стефана-Больцмана, скоригованого для сірих тіл [6]:

$$B = \delta\sigma T^4, \quad (1)$$

де $\sigma = 5,67032 \cdot 10^{-8}$ Вт/м²·К⁴ постійна Стефана-Больцмана; δ – поправка для сірого тіла, поглинаюча/випромінююча здатність якого для всіх довжин хвиль випромінювання однакова; T – температура за шкалою Кельвіна (пов'язана зі шкалою Цельсія співвідношенням $T = t^{\circ}\text{C} + 273,15$).

Зважаючи стіну абсолютно сірим тілом з $\delta = 0,95$, оцінимо повний потік випромінювання енергії цегляною стіною будинку, нагрітою до $3,57^{\circ}\text{C}$, якщо площа її поверхні складає умовно 1000 м^2 (орієнтовна площа стін 5-ти поверхового 60-ти квартирного будинку). Отримаємо необхідну для порівняння оцінку величину:

$$B_{1000} = 1000\delta\sigma T^4 = 1000 \cdot 5,67032 \cdot 10^{-8} \cdot 0,95 \cdot (3,57 + 273,15)^4 = 315,86 \text{ кВт/}1000 \text{ м}^2.$$

Аналогічно визначимо радіаційні втрати тепла з поверхонь утеплювачів товщиною 5 та 10 см, що мають відповідні розрахункові температури: $2,287^{\circ}\text{C}$ та $2,055^{\circ}\text{C}$, визначені вище. Відповідно отримаємо втрати тепла – $310,04$ та 309 кВт/1000 м². Отже, при застосуванні указаних утеплювачів втрати тепла знизяться на $5,82$ та $6,86$ кВт/1000 м², тобто в середньому на $6,34$ кВт на 1000 м² утепленої поверхні.

Відповідні відносні втрати тепла, порівняно з потоком випромінювання цегляної стіни, прийнятим за 1, складуть – $0,9816$ та $0,9783$, отже у відсотках втрати тепла знизяться на $1,84\%$ та $2,17\%$, тобто в середньому на 2% , відносна похибка якої складає приблизно $\pm 8\%$ – величину, прийнятну в інженерних розрахунках. Важливо, що отримані середні зниження втрат тепла у 2% будуть характерними для кожної обраної площі утепленої поверхні, тобто – для окремого утепленого будинку, кварталу чи мікрорайону.

Таким чином, за результатами виконаних пірометричних вимірювань та їх аналізу з відповідними розрахунками визначені цілком достовірні величини зниження втрат тепла з поверхонь стін цегляного будинку, фрагментарно утеплених зовні шарами пінопласту товщиною 5 та 10 см, котрі порівняно з цегляною поверхнею, в середньому склали $6,34$ кВт на кожні 1000 м^2 утепленої поверхні, а у відносних величинах – близько 2% . Причому отримане відносне зниження буде стосуватися не тільки втрат тепла, але й величин витрат палива, викидів забруднюючих речовин та відповідних індексів, визначених без урахування утеплення, що дозволить в кінцевому результаті визначити рівні їх зниження та оцінити ресурсозберігаючий і екологічний ефект в системі «котельня – споживачі тепла – довкілля» від впровадження технології утеплення стін.

Для пояснення та узагальнення цього положення спочатку коротко проаналізуємо механізм впливу зниження втрат тепла будинком на споживання палива котельнею і одночасно на викиди нею забруднюючих речовин в атмосферу. Так, за рахунок утеплення стін будинку відбудеться певне підвищення температури «зворотньої води», яка повертається з опалювальної системи будинку в котельню. При цьому в котельні в автоматизованому режимі буде знижена подачу палива в топку котлоагрегатів для компенсації температури більш нагрітої поверненої в котельню води до наперед заданого рівня [7], наприклад, 40°C – для будинкових котелень невеликої потужності, а 70°C – для потужних котлоагрегатів квартальних котелень. Саме певне зменшення енергії, необхідної для нагрівання води в котлоагрегатах до рівня номінальної температури (в потужних котлах до 150°C), після утеплення стін і призводить до зниження витрати палива, а значить, до підвищення енергоефективності котельні, та одночасно до зменшення викидів в атмосферу, оскільки, згідно з діючою галузевою розрахунковою методикою викиди забруднюючих речовин в атмосферу від енергетичних установок прямо пропорційні витратам палива [8].

Для кількісного оцінювання зазначених енергоекологічних показників, що необхідні для подальшої оцінки ресурсозберігаючого та екологічного ефектів в системі «котельня – споживачі тепла – довілля» від утеплення зовнішніх стін будинків, звернімося до запропонованої авторами в роботі [4] методики. Зокрема, коротко проаналізуємо запроваджений в методиці показник K – індекс, що характеризує кратність перевищення викидів забруднюючих речовин та одночасно витрат палива котельнею, відносно їх опорних значень. Останні запропоновано авторами визначати на початку опалювального сезону в умовах певної котельні для температури атмосферного повітря 8°C. Поточні значення цього індексу визначаються як безрозмірна величина:

$$K_i = B_i / B_{8C} = E_j / E_{j8C}, \quad (2)$$

де B_i , B_{8C} – відповідно добова витрата палива котельнею та опорне значення його добового споживання, визначене на початку опалювального сезону та приведене до температури 8°C; E_j , E_{j8C} – відповідно поточний викид котельнею j -ої забруднюючої речовини у складі димових газів та опорне значення викиду, розраховане за величиною – B_{8C} ,

Отже, якщо $K_i = E_j / E_{j8C}$, маємо поточний індекс, що характеризує ступінь екологічної небезпеки викидів котельні в атмосферу, а як $K_i = B_i / B_{8C}$ – той самий за величиною індекс, але, який характеризує відносний рівень споживання палива, тобто енергетичну ефективність котельні.

Значення індексу K прямо пропорційні споживанню палива котельнею – B_i та змінюються залежно від температури атмосфери впродовж опалювального сезону дослідженого регіону в діапазоні від 0,8 до 2,6 (при температурах атмосферного повітря нижче -14°C верхня границя K збільшуватиметься). Тому, знижуючи поточні (добові) витрати палива, знизимо й індекс K в обох його смислах.

Вважається, що указаний діапазон зміни K є універсальним, тобто є однако-вим для усіх котелень сезонного типу потужністю орієнтовно від 400 кВт до 50

МВт, що проілюстровано на кількісно-якісній діаграмі в роботі [4]. Отже зі зміною потужності відповідно будуть мінятися лише обсяги споживання палива котельнями, а обсяги зміни індексу K залишаться у межах зазначеного вище діапазону. Причому з позиції одночасної оцінки екологічних та енергетичних показників цим індексом, його варто поіменувати як енергоекологічний індекс K , що точніше відповідає його суті при використанні в системі «котельня – споживачі тепла – довкілля». В такому разі згадану вище кількісно-якісну діаграму подамо у вигляді, наведеному на рис. 5.



Рис. 5. Сімейство графіків відповідності енергоекологічного індексу K витратам палива для котельень різної потужності – орієнтовно від 400 кВт до 50 МВт (пунктирна лінія відповідає потужності котельні 10 МВт)

Таким чином, для визначення енергоекологічного індексу K в умовах котельні певної потужності необхідно ідентифікувати відповідне лінійне рівняння з сімейства, наведеного на рис. 5.

Для подальшого оцінювання масштабів ресурсозбереження та зниження екологічної небезпеки в системі «котельня – споживачі тепла – довкілля» від утеплення зовнішніх стін будинків здійснимо ідентифікацію рівняння для потужності котельні 10 МВт. Приблизно таку потужність має типовий газовий водонагрівний котлоагрегат марки ТВГ-8м (номінальна потужність 9,6 МВт) [9]. Зокрема, ним оснащені деякі котельні теплових мереж м. Дніпро, що забезпечують теплопостачання в житлові квартали або мікрорайони міста.

За апіорними даними була оцінена опорна величина споживання газу котлоагрегатом зазначеної потужності, на початку опалювального сезону 2018-2019 років, яка склала $B_{8C} \approx 12,5$ т/добу (на рис. 3 відповідає точці перетину ординати $K=1$ та абсциси $B_{8C}=12,5$ т/добу, що указана стрілкою). За цією величиною було ідентифіковано рівняння, що нанесене на діаграмі (рис. 3) у вигляді пунктирної прямої:

$$K_i = B_i / B_{8C} = E_j / E_{j8C} = 0,08 B_i . \quad (3)$$

Рівняння (3) дозволяє розрахувати поточні значення енергоекологічного індексу K за добовими витратами палива котлоагрегатом. Натомість, у разі визначення енергоекологічної ефективності певної ресурсозберігаючої технології або технології, спрямованої на зниження ступеня екологічної небезпеки, що запроваджується в системі «котельня – споживачі тепла – довкілля», зокрема від впровадження технології утеплення зовнішніх стін будинків шарами теплоізоляційного матеріалу, потрібно визначити певне відлікове значення указанного індексу, який позначимо як K_{i0} . Рівень зниження індексу K_{i0} та пов'язаних з ним енергоекологічних показників й характеризуватиме ефективність запровадженої технології

Рекомендується визначити K_{i0} при такому споживанні палива – B_{i0} , значення якого відповідало б номінальній потужності певної котельні чи її котлоагрегату. На практиці таку величину B_{i0} зазвичай матимемо при температурі атмосферного повітря близько 0°C , яка відповідає середній температурі на протязі опалювального сезону в регіоні. Наприклад, добове значення витрати палива, указаним вище котлоагрегатом при середній температурі атмосфери $t = 0^{\circ}\text{C}$ складає $B_i = 19,64$ т/добу. За таких умов, згідно з формулою (3), відлікове поточне значення енергоекологічного індексу, необхідного для подальшого визначення ефективності впровадження технології утеплення, складе: $K_{i0} = 0,08B_{i0} = 0,08 \cdot 19,64 = 1,5712$.

Після повномасштабного впровадження в будинках кварталу або мікрорайону міста утеплювачів товщиною 5 або 10 см значення енергоекологічного індексу знизиться в середньому до рівня $K_i = 1,5397$, тобто на величину 0,0315, або в середньому стане на 2% нижче попередньо визначеної відлікової величини. Аналогічним буде зниження викидів кожної забруднюючої речовини або їх концентрацій у димових газах відповідної котельні, а також споживання палива її котлоагрегатами. При цьому для отримання указаних показників потрібно спочатку визначити їх відлікові величини, що відповідають розрахованому вище індексу $K_{i0} = 1,5712$. Так, концентрація оксидів азоту NO_x в димових газах котельні знизяться з відлікового значення 250 мг/м^3 до 245 мг/м^3 , а оксиду вуглецю CO – з 130 мг/м^3 до $127,4 \text{ мг/м}^3$, тобто зменшаться відповідно на 5 мг/м^3 та $2,6 \text{ мг/м}^3$. Споживання ж палива – B_i , згідно з отриманими K_i , знизиться до рівня $19,246$ т/добу, тобто добові витрати палива зменшаться на 394 кг/добу. На перший погляд, зменшення не значні, але впродовж опалювального сезону вони переростуть у відчутні величини зниження валових викидів забруднювачів атмосфери та податкових платежів за них. Одночасно за сезон отримаємо відчутну економію палива котельнею.

Узагальнюючи відмітимо, що масштабне застосування в будинках міста технологічно прийнятних утеплювачів їх зовнішніх стін шарами пінопласту призведе до зниження концентрацій забруднюючих речовин у викидах котельні та одночасно до економії палива приблизно на 1,8-2,2%, в середньому на величину близько 2%, задекларовану вище. Причому зазначене відносне зниження буде характерним для кожної площі утепленої поверхні, обраної для розрахунків, тобто – для окремого утепленого будинку, кварталу чи мікрорайону, а також для

відповідних енергоекологічних індексів, визначених без урахування утеплення, величин витрат палива та викидів забруднюючих речовин котельнями. В кінцевому підсумку це дозволить визначати рівні зниження указаних показників, тобто чисельно оцінювати ресурсозберігаючий і екологічний ефект в системі «котельня – споживачі тепла – довкілля» від впровадження технології утеплення стін багатоповерхових будинків.

Висновки. В результаті виконаних досліджень встановлено наступне:

1. За результатами виконаних пірометричних вимірювань та їх аналізу визначені цілком достовірні величини зниження втрат тепла з поверхонь стін цегляного будинку, утеплених зовні шарами пінопласту товщиною 5 та 10 см, котрі порівняно з цегляною поверхнею, склали в середньому 6,34 кВт на кожні 1000 м² утепленої поверхні або близько 2%, що дозволяють оцінити ресурсозберігаючий і екологічний ефект від впровадження технології утеплення стін в системі «котельня – споживачі тепла – довкілля»

2. Проаналізовано механізм впливу зниження втрат тепла будинком за рахунок утеплення його стін на споживання палива котельнею і одночасно на викиди нею забруднюючих речовин в атмосферу з використанням запровадженого авторами енергоекологічного індексу K , що характеризує кратність перевищення викидів забруднюючих речовин та одночасно витрати палива котельнею, відносно їх опорних значень, визначених на початку опалювального сезону для температури атмосферного повітря 8°C.

3. При визначенні енергоекологічної ефективності певної ресурсозберігаючої технології або технології, спрямованої на зниження ступеня екологічної небезпеки, в тому числі, технології утеплення будинків, рекомендується визначити відлікове значення індексу K при споживанні палива, що відповідає номінальній потужності котлоагрегату. На практиці – при температурі атмосферного повітря 0°C, близької до середньої температури опалювального сезону в регіоні.

4. При повномасштабному застосуванні технології утеплення зовнішніх стін будинків міста, які обслуговуються котельнею, наприклад, потужністю 10 МВт, очікується зниження величини поточного енергоекологічного індексу $K=1,5712$, визначеного без урахування утеплення, в середньому до рівня $K=1,5397$, тобто на величину 0,0315. Відповідно концентрації оксидів азоту NO_x в димових газах, що викидаються з котельні в атмосферу, знизяться з номінальних 250 мг/м³ до 245 мг/м³, а оксиду вуглецю CO – з 130 мг/м³ до 127,4 мг/м³. При цьому добові витрати палива знизяться на 394 кг/добу. Отже, впродовж опалювального сезону матимемо відчутні зниження валових викидів забруднювачів атмосфери та суттєву економію палива котельнею, що доводить позитивну енергоекологічну ефективність впровадження зазначеної технології.

Перелік посилань

1. Ibragimov, E., & Cherkasov, S. (2018). Improving the efficiency of power boilers by cooling the flue gases to the lowest possible temperature under the conditions of safe operation of reinforced concrete and brick chimneys of power plants. *MATEC Web of Conferences*, 245, 07014. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201824507014>

2. Pisarek, Z. (2019). Failure of a steel boiler chimney caused by corrosion of the structural shell plate. *MATEC Web of Conferences*, 284, 09007.
<https://doi.org/10.1051/matecconf/201928>
3. Fialko N.M., Navrodska R.O., Shevchuk S.I., & Gnedash G.O. (2020). The environmental reliability of gas-fired boiler units by applying modern heat-recovery technologies. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2, 96–100.
<https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-2/096>
4. Колесник, В.Є., Павличенко, А.В. & Монюк, І.В. (2020). Обґрунтування розрахункового методу оперативного визначення поточних викидів міських котельень, показників їх енергоефективності та ступеня екологічної небезпеки. *Зб. наук. праць Національного гірничого університету*, 60, 162–176.
<https://doi.org/10.33271/crpnmu/60.162>
5. Navrodska, R., Fialko, N., Gnedash, G., & Sbrodova, G. (2017). Energy-efficient heat recovery system for heating the backward heating system water and blast air of municipal boilers. *Thermophysics and Thermal Power Engineering*, 39(4), 69-75.
<https://doi.org/10.31472/ihe.4.2017.10>
6. Матвеев, Л.Т. (1976). *Курс общей метеорологии*. Гидрометеиздат.
7. *Загальні характеристики котлоагрегатів*. (н.д.). Взято з <https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/>
8. *ГКД 34.02.305-20002. Викиди забруднюючих речовин в атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення* (Чинний від 01.07.2002) (2002). Міністерство палива та енергетики України.
9. *Теплофикационный газовый водогрейный котел ТВГ*. (н.д.). Взято с <http://mmzavod.com.ua/>

АННОТАЦІЯ

Цель. Оценка уровня сохранения ресурсов и степени снижения экологической опасности выбросов в системе «котельная – потребители тепла – окружающая среда» за счет внедрения технологии утепления внешних стен городских многоэтажных домов.

Методика исследования базируется: на определении температур не утепленных и утепленных поверхностей внешних стен типичного 5-ти этажного дома слоями теплоизолирующего материала портативным радиационным пирометром; построению корреляционных зависимостей температур утепленных и не утепленной поверхностей стены в отопительном сезоне в виде уравнений регрессии; сравнительной оценке потерь тепла указанными поверхностями путем излучения; оценивании энергоэкологических показателей указанной технологии утепления.

Результаты исследования. По результатам выполненных измерений пирометров определены достоверные величины снижения потерь тепла из поверхностей стен пятиэтажного кирпичного дома, фрагментарно утепленных внешне слоями пенопласта толщиной 5 и 10 см, что сравнительно с кирпичной поверхностью сложили в среднем 6,34 кВт на каждые 1000 м² утепленной поверхности, а в относительных величинах – примерно 2%. Причем отмеченное относительное снижение касается не только потерь тепла, но и величин расходов топлива, выбросов загрязняющих веществ и соответствующих индексов, определенных предварительно без учета утепления, что позволяет оценить уровни снижения указанных показателей, ресурсосберегающий и экологический эффект от внедрения технологии утепления.

Научная новизна. Заключается в выявлении закономерностей изменения температуры не утепленных поверхностей стен дома и соответствующих изменений температуры, утепленных внешне слоями теплоизоляционного материала, что позволило, определить отличия в величинах потерь тепла отмеченными поверхностями и определить их натуральные и относительные

значения, которые использованы в расчетах энергоэкологических показателей в системе «котельная – потребители тепла – окружающая среда», обусловленных внедрением технологии утепления.

Ключевые слова: *сохранение ресурсов в системах теплоснабжения, выбросы загрязняющих веществ котельными, экологическая опасность выбросов котельных, энергоэффективность котлоагрегатов.*

ABSTRACT

Goal. An estimation of level of maintenance of resources and degree of decline of ecological danger of extras is in the system «a boiler room – heart consumer – a boiler room» due to introduction of technology of warming of external walls of municipal multistoried building.

Research methodology is based: on determination of temperatures of not heat-insulated and heat-insulated surfaces of external walls typical 5-ти superficial house by the layers of heat-insulating material by a portable radiation pyrometer; to the construction of cross-correlation dependences of temperatures of heat-insulated and not heat-insulated surfaces of wall in a heating season as equalizations of regression; to the comparative estimation of defervescences by the indicated surfaces by a radiation; evaluation of energyecological indexes of the indicated technology of warming.

Research results. On results the executed measuring of pyrometer the reliable sizes of decline of defervescence are certain from the surfaces of walls of much storeyed house, fragmentary heat-insulated outwardly the layers of foam plastic in thick 5 and a 10 cm, that comparatively with a brick surface laid down 6,34 kW on each 1000 meters square to the heat-insulated surfaces, and in relative sizes – close 2%. Thus marked a relative decline touches not only defervescence but also sizes of charges of fuel, extras of contaminants and corresponding indexes certain preliminary case-insensitive warming, that allows to estimate the even declines of the indicated indexes, saving resources and ecological effect from introduction of technology of warming.

Scientific novelty. Consists in the exposure of conformities to law of change of temperature of not heat-insulated surfaces of walls of house and corresponding changes of temperature of heat-insulated outwardly the layers of heat-insulation material, that allowed, to define differences in the sizes of defervescence the marked surfaces and to define them natural and relative values, that is used in the calculations of the energy ecological indexes in the system «a boiler room is consumers of heat – environment», conditioned by introduction of technology of warming.

Practical value. The certain relative sizes of decline of defervescence as a result of application of material that warms of external walls of houses are offered to use for prognostication or planning of energy ecological indexes necessary for the ground of mass introduction of technology of warming of municipal multistoried building.

Keywords: *maintenance of resource in the systems of supply of heat, extras of contaminants by boiler rooms, ecological danger of extras of boiler rooms, energy efficiency of caldrons.*