

© Т.Ф. Яковишина

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

ОСОБЛИВОСТІ ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГОЕКОЛОГІЧНОГО ЕФЕКТУ ВІД ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ В МІСЬКИХ ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖАХ

© Т. Yakovyshyna

¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

FEATURES OF EVALUATION OF THE ENERGY-ECOLOGICAL EFFECT FROM THE INTRODUCTION OF THERMAL MODERNIZATION IN URBAN HEATING NETWORKS

Мета. Аналіз особливостей практичного застосування відомих методів визначення енергетичних і екологічних показників котельень в системах теплових мережах міста «до» та «після» впровадження термомодернізації житлових будинків.

Методика дослідження передбачає критичний аналіз існуючої методики визначення викидів в атмосферу з енергетичних установок та рекомендації стосовно визначення енергетичної й екологічної ефективності термомодернізації будинків.

Результати дослідження. Аналіз стандартизованої методики розрахункового визначення викидів забруднюючих речовин в атмосферу з енергетичних установок, включаючи міські котельні, показав необхідність її удосконалення за рахунок виокремлення із розрахованих показників витрат палива і викидів частки, що обумовлена впровадженняю термомодернізацією. Рекомендовано доповнити указану методику розрахунком «енергоекологічного індексу» (К), запропонованого у 2020 році. Особливістю застосування цього індексу в умовах котельні, де відбулася будь яка термомодернізація, потрібно обрати поточні витрати палива «до» і «після» її впровадження, але визначені при однаковій атмосферній температурі, наприклад 0°C, та відповідно розрахувати пару значень індексу. Різниця між ними дозволить оцінити спочатку величину збереження (економії) палива, тобто енергетичний ефект термомодернізації, а потім розрахувати різницю відповідних поточних пар значень викидів кожної забруднюючої речовини, як екологічний ефект термомодернізації.

Наукова новизна полягає в рекомендації удосконалення стандартизованої методики за рахунок виокремлення із визначених за нею витрат палива і викидів частки, що обумовлена впровадженняю термомодернізацією, на основі використання відомого енергоекологічного індексу, для розрахунків якого потрібно обрати поточні витрати палива «до» і «після» термомодернізації, але визначені при однаковій атмосферній температурі.

Практичне значення. Отримані розрахункові показники пропонуються використовувати для визначення енергетичної й екологічної ефективності термомодернізації в системі певної котельні, включаючи будинки як чинників екологічної безпеки територій міста.

Ключові слова: термомодернізації будівель, методи визначення викидів забруднюючих речовин котельнями, енергетична та екологічна ефективність термомодернізації.

Вступ. Житловий фонд достатньо великих міст налічує багато будинків, що обслуговуються котельнями різного рівня та потужності, які входять до складу міських підприємств теплових мереж. Причому поряд з новобудовами

завжди є велика кількість будинків, що має термін експлуатації більше 50-ти років, які відрізняються від новобудов зниженим рівнем енергозбереження. Тому в період опалювального сезону втрачають відносно більше тепла, а це відповідно веде до більшого споживання палива котельнями, що їх обслуговують. Причому тепло втрачається не тільки в будинках, а й в мережах теплопостачання і в самих котельнях, залежно від виду палива, технологій вироблення тепла та його передачі споживачам в будинки. Пропорційно споживанню палива зростають викиди котельнями екологічно небезпечних речовин в атмосферу, серед яких, газоподібні речовини (оксиди вуглецю, азоту, сірки) та пил (сажа, зола), що забруднюють міську атмосферу, а також парниковий газ – діоксид вуглецю, що підсилює парниковий ефект, впливаючи на земний клімат. Отже, з похолоданням посилюються проблемні питання, пов'язані з втратами тепла будинками та паливних ресурсів котельнями, що впливають як на екологічну безпекою міських територій, так і безпеку держави [1]. Вирішенню цих питань, зокрема стосовно термомодернізації будинків, присвячено ряд публікацій в різних джерелах інформації переважно економічного характеру або пов'язаного з технологією будівельної реконструкції житлових будинків, наприклад [2, 3]. Проте є необхідність в аналізі не тільки технологій термомодернізації, але й методів оцінювання показників енергетичного та екологічного ефекту від впроваджуваних технологій, що визначатимуть рівень підвищення екологічної безпеки міських територій саме за рахунок термомодернізації в системі теплових мереж міста.

Мета – Аналіз особливостей практичного застосування відомих методів визначення енергетичних і екологічних показників котелень в системах теплових мережах міста до та після впровадження термомодернізації житлових будинків.

Аналіз виконувався на основі інформації, отриманої з Інтернет ресурсів, з урахуванням Державних законодавчих та нормативних документів міського рівня, закладів екології та природних ресурсів стосовно термомодернізації будівель [1, 4, 5], а також авторських публікацій [2, 3] та [6–8].

Основна частина. Для досягнення поставленої мети коротко розглянути питання реалізації державної політики енергоспоживання в будівлях, що регулюються статтею 3 «Закону України Про енергетичну ефективність будівель», яка передбачає стимулювання зменшення споживання енергії в будівлях та скорочення викидів парникових газів у атмосферу, в тому числі і за рахунок термомодернізації будівель, а прикладом реалізації указаних законодавчих вимог в різних секторах міської економіки, включаючи житлово-комунальний, є «Програма з енергозбереження, енергоефективності та раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів у місті Дніпро на 2022–2026 роки» [4].

В програмі, зокрема зазначено, що тривалий термін експлуатації котельного та технологічного обладнання в системі теплових мереж міста, призвів до понаднормових втрат теплової енергії та надмірних витрат паливно-енергетичних ресурсів, обумовлених також і високим рівнем питомих витрат теплової енергії та гарячої води мешканцями багатоквартирних житлових будинків, переважна частина яких побудована в 50...90 роках минулого століття та не відповідають сучасним вимогам енергозбереження. Відмічається, що збільшене

споживання енергоносіїв в комунальних котельнях пов'язано із втратою тепла у споживачів, де насамперед і слід забезпечити енергозбереження в тому числі і шляхом термомодернізації будинків за рахунок утеплення зовнішніх стін, горищ, дахів, заміни вікон і дверей та модернізації інженерних систем теплопостачання, опалення і вентиляції. Причому термомодернізація передбачає не тільки реконструкцію будинків з використанням енергозберігаючих та енергоефективних матеріалів, наприклад, з низькою теплопровідністю, або обладнання, зокрема вентиляційного, чи певних організаційних заходів стосовно зниження протягів в будинках, але в перспективі впровадження новітніх технологій виробництва та споживання енергетичних ресурсів в існуючих міських котельнях. Оскільки процес термомодернізації розподілений у часі, важливо одночасно визначати поточні показники, які дозволять оперативно оцінити підвищення рівня екологічної безпеки в містах саме від впровадження термомодернізації в міських теплових мережах.

Для достовірного прогнозу згаданих вище показників можливе використання відомих методів або розробка нових, що забезпечать як оперативне визначення, так і прогнозування очікуваного зменшення споживання палива котельнями та рівнів скорочення ними викидів в міську атмосферу екологічно небезпечних речовин (оксидів вуглецю, азоту, сірки, сажі, золи-виносу та парникового газу CO₂).

Примітно, що результат впровадження термомодернізації має два важливі аспекти. Так, з позицій розвитку міст впровадження заходів із термомодернізації будинків буде сприяти збільшенню строку експлуатації будівель житлового сектора, а з позицій екобезпеки міських територій – збереженню паливних ресурсів та зменшенню викидів екологічно небезпечних речовин котельнями у міську атмосферу.

Таким чином, для вирішення порушених проблемних питань енергозбереження в житлово-комунальному секторі важливі не тільки ті, що пов'язані з енергозберігаючою реконструкцією будинків, але є потреба у визначенні та прогнозуванні показників енергетичної і екологічної ефективності технологій і заходів, впроваджуваних під час термомодернізації, які впливатимуть також і на окупність інвестицій, вкладених у реконструкцію.

Проаналізуємо відомі методи достовірного визначення рівнів споживання палива котельнями та викидів ними екологічно небезпечних речовин в атмосферу, а також очікуваного їх зменшення під час впровадження термомодернізації будинків. Це важливо, оскільки сукупність великої кількості котелень у місті виступають як джерело майданного типу, що підвищує існуючу фонову концентрацію забруднюючих речовин в міській атмосфері, обумовлену сукупністю міських промислових підприємств та автомобільного транспорту, що також викидають в атмосферу значну кількість аналогічних забруднювачів [1]. Саме з цього фону необхідно виокремити частку, обумовлену викидами котелень під час та після термомодернізації у певній тепловій мережі чи котельні.

Для отримання даних стосовно викидів забруднюючих речовин та парникових газів застосовують, як постійний апаратний чи періодичний лабораторний

контроль концентрацій забруднювальних речовин у димових газах, так і розрахункові методи їх визначення за даними споживаного палива та певних характеристик енергетичних установок. Проте під час термомодернізації варто скористатися розрахунковими методами, зокрема стандартизованою розрахунковою методикою [5], згідно з якою валовий викид (специфічний показник емісії) j -ої забруднюючої речовини E_j , що надходить в атмосферу з димовими газами котельні за проміжок часу T , визначається як сума валових викидів цієї речовини під час спалювання різних видів палива, в тому числі під час їх одночасного спільного спалювання за формулою:

$$E_j = \sum_i E_{ji} = 10^{-6} \sum_i k_{ji} B_i (Q_i^r)_i, \text{ т,} \quad (1)$$

де k_{ji} – показник емісії j -ої забруднюючої речовини для i -го палива, г/ГДж; B_i – витрати i -го палива за проміжок часу T , тон; $(Q_i^r)_i$ – нижня робоча теплота згоряння i -го виду палива, МДж/кг.

Як бачимо, стандартизована модель у вигляді рівняння (1) визначає практично лінійний зв'язок двох головних чинників, що характеризують рівень екологічної небезпеки котельні, а саме: валового викиду (емісії) j -ої забруднюючої речовини – E_j , від витрати i -го палива – B_i . Отже це рівняння дозволяє розрахувати питомі викиди кожної з екологічно небезпечних речовин, в тонах на 1 тону використаного котельнею палива, при певних значеннях параметрів k_{ji} та $(Q_i^r)_i$.

Особливістю застосування цієї методики на практиці є те, що отримані валові значення емісії розраховуються один раз на квартал за обсягами спожитого палива, з наступним визначенням квартального податку на викиди. Відповідно з такою ж періодичністю можливо оцінити і ступінь екологічної небезпеки забруднення атмосфери за кратністю перевищення отриманих валових розрахункових показників емісії над рівнем її нормативних величин. Проте, розрахункове оцінювання показників енергетичної й екологічної ефективності від впровадження термомодернізації вимагає не осереднених за квартал даних, а щодобової поточної інформації, як про споживання палива котельнями – B_i , яке до речі реєструються щодоби, так і про поточні добові викиди забруднюючих речовин – E_j . Обумовлено це тим, що витрати палива котельнею, при відносно сталих значеннях інших параметрів моделі (1), залежать переважно від температури приземної атмосфери, але однозначно зменшуватимуться в результаті впровадження термомодернізації в системі теплових мереж певних котельні. Отже є необхідність виокремити та оцінити зменшення показників B_i та E_j під час і після термомодернізації. Тому наведена нормативна методика [5], потребує певного удосконалення або доповнення що дозволить у ході, зокрема термомодернізації будинків, оперативно оцінювати ефективність впроваджуваних технологій та заходів стосовно як збереження палива котельнями, так і зниження викидів ними екологічно небезпечних речовин, в атмосферу міста, включаючи CO_2 , що і стане мірою підвищення рівня екологічної безпеки його територій за рахунок термомодернізації.

Цікавою пропозицією у напрямку оперативного визначення ефективності термомодернізації будинків в системі теплових мереж міста є запропонований та обґрунтований в роботах [6–8] «енергоекологічний індекс» (K), який слугує для одночасного визначення ресурсозберігаючого і екологічного ефектів в системі «котельня – споживачі тепла – доквілля» від впровадження в ній технологій ресурсозбереження, тобто термомодернізації.

Формально поточне добове значення індексу визначаються як відносна безрозмірна величина:

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

де: B_i , B_{8C} – відповідно поточна добова витрата палива котельнею та опорне значення його добового споживання, яке визначене на початку опалювального сезону для середньодобової температури 8°C , при якій зазвичай починається опалення житлових будинків; E_j , E_{j8C} – відповідно розрахований за формулою (1) поточний викид котельнею j -ої екологічно небезпечної речовини у складі димових газів та опорне значення її викиду, що відповідає добовій витраті палива – B_{8C} .

Величина цього безрозмірного індексу практично лінійно зростає з пониженням температури атмосферного повітря (при негативних температурах до величин 2...3 і вище), оскільки котельня компенсує збільшені втрати тепла будинками, підвищуючи споживання палива – B_i [6–8]. Відповідно зростають поточні величини викидів – E_j . Причому за однакових температурних умов, більш утеплені будинки втрачатимуть менше тепла, тому поточний енергоекологічний індекс – K_i , попередньо визначений для котельні, що їх обслуговує, теж зменшиться на величину, яка згідно з (2) одночасно характеризуватиме енергетичний й екологічний ефект від термомодернізації, включаючи утеплення фасадів будинків, зменшення в них протягів, поліпшення теплоізоляції теплопостачальної мережі або бойлерів в котельній, більш ефективне спалювання палива в котлоагрегатах тощо. Отже, особливістю практичного застосування указанного індексу є порівняння його значень, розрахованих до і після термомодернізації при наперед обраній температурі атмосферного повітря, наприклад 0°C .

Таким чином, для виокремлення та визначення значень енергоекологічного індексу на практиці в умовах теплової мережі певної котельні, де в ході опалювального сезону відбулася будь яка термомодернізація, слід вибрати з щоденного журналу котельні поточні витрати палива – B_i до і після її впровадження, але обов'язково при однаковій атмосферній температурі, наприклад 0°C , та відповідно розрахувати пару значень поточних енергоекологічних індексів за лівою частиною формули (2), як $K_i = B_i / B_{8C}$. Різниця між значеннями цієї пари індексів (до і після термомодернізації) дозволить визначити, спочатку, величину збереження палива, як енергетичний ефект термомодернізації, а потім за їх величиною розрахувати відповідні поточні пари значень викидів – E_j згідно з правою частиною формули (2), як $E_j = K_i \cdot E_{j8C}$ і теж визначити різницю для кожної забруднюючої речовини, як екологічний ефект термомодернізації.

Наприклад, котельня з номіальною потужністю 10 МВт, при температурі атмосфери 0°C , споживає $B_i = 19,64$ т природного газу за добу, а його добове споживання, визначене на початку опалювального сезону при температурі 8°C , склало $B_{8C} = 12,5$ т. Отже за цих умов початкове (до термомодернізації) значення енергоекологічного індексу оцінюється за формулою (2) як: $K_{i0} = B_i / B_{8C} = E_j / E_{j8C} = 19,64 / 12,5 = 1,5712$. Після же повномасштабного утеплення фасадних стін, зокрема пінопластовими плитами в будинках, що обслуговуються указаною котельнею, значення енергоекологічного індексу K , за аналогічних температурних умов (0°C), знизиться, як показано в роботах [7, 8] до рівня $K_i = 1,5397$, тобто різниця, порівняно з початковим (до утеплення) значенням, складе величину 0,0315, що саме і характеризує, отриманий позитивний енергетичний і екологічний ефект від впровадженої технології утеплення стін пінопластом, тобто запровадженої термомодернізації. Відповідно до рівняння (2) розрахункове значення споживання палива котельнею знизиться до рівня $B_i = 19,246$ т/добу, тобто різниця складе 394 кг/добу, визначаючи ефект збереження паливного ресурсу в результаті утеплення фасадних стін. В такій же пропорції зменшаться викиди кожної забруднюючої речовини E_j , порівняно з початковим (до термомодернізації) значенням E_{j0} , а також їх концентрації. Зокрема, концентрація оксидів азоту NO_x в димових газах котельні знизиться з 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 $2,6 \text{ мг/м}^3$.

Розрахункова ж величина добового викиду в атмосферу парникового газу (CO_2) указаною котельнею, яка в номіальному режимі роботи (при 0°C) на кожну 1 тону спожитого природного газу, викидає приблизно 2,7 т CO_2 , складе – 52,79 т/добу. Після ж повномасштабного утеплення фасадних стін будинків пінопластом в системі цієї котельні викиди нею CO_2 знизяться до 51,73 т/добу, визначаючи, разом з наведеними вище показниками, як позитивний енергетичний (ресурсозберігаючий), так і екологічний ефект запровадженої термомодернізації фасадних стін будинків, що характеризуватиме також і ступінь зниження екологічної небезпеки міських територіях де працює котельня.

Висновки:

1. Енергозбереження шляхом термомодернізації будинків в міських теплових мережах стимулюється Законом України «Про енергетичну ефективність будівель», обумовленим наднормативним терміном експлуатації будівель, зношеністю котельного та технологічного обладнання, а також високим рівнем витрат теплової енергії у споживачів комунальних послуг, тобто в будинках.

2. Аналіз діючої стандартизованої методики розрахункового визначення викидів забруднюючих речовин в атмосферу з енергетичних установок, в тому числі міських котельень, за фактичними витратами палива, залежними переважно від температури приземної атмосфери, показав необхідність удосконалення методики стосовно виокремлення із загальних розрахункових показників витрат палива і викидів частки, що обумовлена саме впровадженою термомодернізацією.

3. Для визначення енергетичної й екологічної ефективності від впровадження термомодернізації є доцільним доповнити указану методику розрахунком «енергоекологічного індексу» (K), запропонованого у 2020 році, зокрема в роботі [7], Формально поточні добові значення цього індексу визначаються, як: $K_i = B_i / B_{8C} = E_j / E_{j8C}$, де B_i , B_{8C} – відповідно поточна добова витрата палива котельнею та опорне значення його добового споживання, визначене на початку опалювального сезону для середньодобової температури 8°C ; E_j , E_{j8C} – відповідно розрахований поточний викид j -ої екологічно небезпечної речовини та опорне значення її викиду при витраті палива величиною – B_{8C} .

4. Особливістю практичного застосування указанного «енергоекологічного індексу» в умовах котельні, де відбулася будь яка термомодернізація, є необхідність оперувати поточними витратами палива «до» і «після» її впровадження, але визначеними при однаковій атмосферній температурі, наприклад 0°C , та відповідно розрахувати пару значень указанного індексу. Різниця між ними дозволить оцінити, згідно з формулою індексу, спочатку величину збереження (економії) палива, тобто енергетичний ефект термомодернізації, а потім, розрахувати різницю відповідних поточних пар значень викидів кожної забруднюючої речовини, як екологічний ефект термомодернізації.

Перелік посилань

1. Колесник, В.Е., Борисовська, О.О., & Монюк, І.В. (2023). Аналіз визначальних чинників екологічної небезпеки та заходів по її зниженню в системі «котельня – споживачі тепла – довікля». *Збірник наукових праць НГУ*, 73, 218–228. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/73.218>
2. Очеретний В. П. & Бойко А. С. (2012). Термомодернізація будинку – пріоритетний напрям енергозбереження в Україні. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, 2, 162–166.
3. Нетеса, К. М. (2021). *Вдосконалення та визначення раціональних організаційно-технологічних рішень влаштування фасадних систем багатопверхових цивільних будівель* (Авто-реферат на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна). НБУВ <http://www.irbis-nbuv.gov.ua/aref/0421U101448>
4. Програма з енергозбереження, енергоефективності та раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів у місті Дніпрі на 2022–2026 роки. (n.d.) Сайт Дніпровської міської ради <https://dniprorada.gov.ua/uk>
5. ГКД 34.02.305-2002. *Викиди забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення*. (n.d.). http://docs.dbn.co.ua/49_1583178492500.html
6. Колесник, В.Е., Павличенко, А.В., & Монюк, І.В. (2020). Обґрунтування розрахункового методу оперативного визначення поточних викидів міських котельень, показників їх енергоефективності та ступеня екологічної небезпеки. *Збірник наукових праць НГУ*, 60, 162–176. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/60.162>
7. Колесник, В.Е., Павличенко, А.В., & Монюк, І.В. (2020). Оцінка ресурсозберігаючого та екологічного ефектів в системі «котельня – споживачі тепла – довікля» від утеплення зовнішніх стін будинків. *Збірник наукових праць НГУ*, 61, 116–128. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/61.116>
8. Колесник, В.Е., Павличенко, А.В., & Монюк, І.В. (2020). Оцінка енергоекологічної ефективності технологій з ресурсозбереження та захисту атмосфери від викидів в системі

«КОТЕЛЬНЯ – СПОЖИВАЧІ ТЕПЛА – ДОВКІЛЛЯ». *Bulletin of Lviv State University of Life Safety*, 22, 23–31.

<https://doi.org/10.32447/20784643.22.2020.04>

ABSTRACT

Purpose. Analysis of the features of the practical application of well-known methods for determining the energy and environmental indicators of boiler houses in the systems of heating networks of the city "before" and "after" the introduction of thermal modernization of residential buildings network.

The methods. provides for a critical analysis of the existing methodology for determining emissions into the atmosphere from power plants and recommendations for determining the energy and environmental efficiency of thermal modernization of buildings implementation of thermal modernization of residential buildings network.

Findings. The analysis of the standardized methodology for calculating emissions of pollutants into the atmosphere from power plants, including urban boiler houses, showed the need for its improvement by separating from the calculated indicators of fuel consumption and emissions the share due to the implemented thermal modernization. It is recommended to supplement this methodology with the calculation of the "energy ecological index" (K) proposed in 2020. The peculiarity of the application of this index in the conditions of the boiler house, where any thermal modernization has taken place, is to select the current fuel consumption "before" and "after" its implementation, but determined at the same atmospheric temperature, for example, 0 °C, and accordingly calculate a pair of index values. The difference between them will allow you to first estimate the value of fuel conservation (savings), i.e. the energy effect of thermal modernization, and then calculate the difference between the corresponding current pairs of emission values of each pollutant, as the environmental effect of thermal modernization.

The originality consists in recommending the improvement of the standardized methodology by allocating from the determined fuel consumption and emissions the share due to the implemented thermal modernization, based on the use of a well-known energy ecological index, for the calculation of which it is necessary to select the current fuel consumption "before" and "after" thermal modernization, but determined at the same atmospheric temperature.

Practical implementation. The obtained calculated indicators are proposed to be used to determine the energy and environmental efficiency of thermal modernization in the system of a certain boiler house, including buildings as factors of environmental safety of the city territories.

Keywords: *thermal modernization of buildings, methods for determining emissions of pollutants by boiler houses, energy and environmental efficiency of thermal modernization.*