

УДК 697.921.2

професор Олег Замицький,
olegvladlam@knu.edu.ua, ORCID: 0000-0002-8113-6369,
Криворізький національний університет
професор Вадим Корбут,
korbut.vp@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-4560-5463,
Київський національний університет будівництва і архітектури
доцентка Альона Ялова,
al.yalovaya@knu.edu.ua, ORCID: 0000-0003-0926-542X,
старша викладачка Наталія Бондар
bondar_nv@knu.edu.ua, ORCID: 0000-0002-8713-265X,
Криворізький національний університет, м. Кривий Ріг, Україна

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПАСИВНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ ТЕРМОМОДЕРНІЗОВАНОГО ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ

Стаття присвячена проблемі зниження ефективності природної вентиляції в термомодернізованих житлових будинках масової забудови середини ХХ століття. Дослідження виконано в межах муніципальної програми «Теплий дім» і зосереджено на змінах мікроклімату після утеплення, заміни вікон і зменшення інфільтрації. Застосовано поетапну методичку, що передбачає обстеження 10 квартир, натурні вимірювання, аеродинамічні розрахунки та оцінювання витрати повітря у витяжних каналах. Встановлено, що за відсутності організованого припливу вентиляція не забезпечує нормативного повітрообміну ($3 - 5 \text{ м}^3/\text{год}$), а рівень CO_2 перевищує 1200 ppm. У відповідь запропоновано пасивне рішення: припливні настінні клапани та турбодифлектори. Впровадження цих засобів забезпечило п'ятикратне зростання витрати витяжного повітря (до $30 - 40 \text{ м}^3/\text{год}$ з кухні та $20 - 30 \text{ м}^3/\text{год}$ з санвузлів) і зниження рівня CO_2 до нормативного діапазону. Отримані результати підтверджують ефективність простих рішень для модернізації вентиляції без значних витрат, що є доцільним для будинків вторинного житлового фонду.

Ключові слова: природна вентиляція, повітрообмін, термомодернізація, пасивні припливні клапани, турбодиффлектор, енергоефективність, мікроклімат

Вступ. Стратегія декарбонізації житлового сектору України [1] передбачає широкомасштабне впровадження глибокої енергомодернізації, що включає збільшення теплозахисту огорожувальних конструкцій, герметизацію швів, заміну заповнень прорізів і встановлення вискоефективних систем опалення. Ці заходи забезпечують суттєву економію енергії, проте істотно змінюють

повітряний баланс будинку, що може створювати ризики для якості внутрішнього повітряного середовища [2]. Традиційні проекти серій 1-447, 464, 90 та інших, зведені у 1960-1980-х роках, розраховувалися на інфільтраційний приплив крізь нещільності вікон, фрамуг і дверних конструкцій [3].

Після утеплення й установлення металопластикових вікон фактична інфільтрація зменшується в 3...6 разів. Кратність повітрообміну в опалювальний період за даними інструментальних обстежень часто опускається нижче $0,1 \text{ год}^{-1}$, що відповідає 4...7 $\text{м}^3/\text{год}$ на приміщення. Водночас, чинні національні норми [4, 5] регламентують нормативні витрати витяжного повітря для кухні з газовою плитою 90 $\text{м}^3/\text{год}$ та для санвузла 50 $\text{м}^3/\text{год}$. Фактичне зниження витрати повітря у 10...15 разів призводить до:

- накопичення CO_2 понад 1000 ppm у спальних кімнатах протягом 60...80 % нічного часу;
- підвищення концентрацій формальдегіду та сумарних летких органічних сполук (ЛОС), що виділяються оздоблювальними матеріалами, меблями та обладнанням при підвищеній температурі;
- зростання рівнів $\text{PM}_{2.5}$ у 2...4 рази під час приготування їжі, особливо без увімкнення витяжних зонтів;
- ризику інверсії повітряного потоку у витяжних каналах, коли від'ємний перепад тиску ($-5 \dots -12 \text{ Па}$) спричиняє надходження забрудненого зовнішнього повітря до квартир верхніх поверхів;
- підвищеної небезпеки накопичення газу в газифікованих кухнях.

Кліматичні особливості Криворізького регіону (тривалі періоди штилю, літня спека понад $+35^\circ\text{C}$, відносно тепла зима) загострюють проблему, адже додатково знижують ефективність природної вентиляції, що функціонує завдяки гравітаційного перепаду тиску. Погіршення мікроклімату підвищує ризик респіраторних захворювань, алергії, утворення конденсату й ураження огорожувальних конструкцій грибками та пліснявою [6].

Незважаючи на значну кількість європейських досліджень, кількісні дані для українських умов є фрагментарними. Системне порівняння фактичних показників з нормативами майже відсутнє. Отже, виникає потреба комплексного аналізу функціонування систем природної вентиляції в термомодернізованих будинках масової забудови з оцінюванням їх відповідності чинним нормативам, визначенням основних причин недостатньої вентиляції та встановленням доцільності впровадження пасивних заходів (припливні клапани, дефлектори, регламентоване технічне обслуговування) з метою забезпечення нормативного повітрообміну без або з мінімальним енергоспоживанням.

Це дослідження є продовженням комплексної прикладної роботи, що проводиться в рамках міського проекту підтримання ОСББ, спрямованого на

підвищення енергоефективності житлових будинків вторинного фонду [7].

Актуальність дослідження. Зростання герметичності житлових будівель після термомодернізації суттєво змінює умови повітрообміну, що часто призводить до погіршення мікроклімату в приміщеннях. Відсутність організованого припливу повітря та нестабільність роботи витяжних каналів створюють передумови для підвищення вологості, зростання концентрації вуглекислого газу та появи мікробіологічних забруднень. На цьому тлі актуальним стає пошук простих, недорогих і ефективних рішень для стабілізації роботи природної вентиляції в житловому фонді вторинної забудови. Проведене дослідження спрямоване на оцінювання ефективності таких рішень в умовах реальної експлуатації термомодернізованого будинку.

Останні дослідження та публікації. Авторами дослідження [8] проведено комплексний аналіз методів модернізації огорожувальних конструкцій будинків з метою підвищення енергоефективності, естетики та якості внутрішнього середовища. Огляд 391 джерела виявив зростання інтересу до таких рішень за останнє десятиліття, особливо в напрямках утеплення стін, скління та сонцезахисту.

Після аналізу зміни якості повітря до та після модернізації системи вентиляції протягом двох опалювальних сезонів авторами дослідження [9] виявлено, що після термомодернізації будинків природна вентиляція стала недостатньо ефективною та потребує оновлення або повної заміни на механічну. Впровадження механічної вентиляції забезпечило зниження концентрації CO₂, відносної вологості та покращило загальний рівень якості повітря в приміщенні.

Дослідження [10] оцінює якість повітря в приміщеннях та рівень задоволеності мешканців житлових будинків після термомодернізації. Результати показали, що попри досягнення належних показників температури та відносної вологості повітря, вентиляція в більшості будинків не відповідала нормативним вимогам, зокрема в спальнях спостерігалось перевищення граничних концентрацій CO₂. Це свідчить про те, що після термомодернізації природна вентиляція стала недостатньою для забезпечення належної якості повітря. Також були виявлені підвищені концентрації формальдегіду, ймовірно, через використані оздоблювальні матеріали. Дослідження підкреслює необхідність інтегрування ефективних вентиляційних рішень та низькоемісійних будівельних матеріалів у програми термомодернізації.

Автори [11] досліджували зв'язок між відносною вологістю повітря в житлових будинках та проявами синдрому хворого будинку. За результатами опитування понад 32 тисяч учасників у п'яти містах встановлено, що вогкість, цвіль і запах плісняви в приміщеннях пов'язані з підвищеною частотою скарг на

респіраторні, шкірні та очні симптоми, головний біль і втому.

Більш високі ризики спостерігалися в разі недостатнього провітрювання та відсутності витяжної системи у ванних кімнатах. Дослідження підтверджує, що ефективна вентиляція є ключовим фактором для запобігання надлишковій відносній вологості повітря та пов'язаних із нею ризиків для здоров'я мешканців будинку.

Метою роботи є оцінювання ефективності функціонування природної витяжної вентиляції в житлових будинках масової забудови після впровадження термомодернізаційних заходів з урахуванням зниження повітропроникності огорожувальних конструкцій, кліматичних особливостей регіону та реальних умов експлуатації.

У межах поставленої мети дослідження виконано такі завдання:

- визначення відповідності фактичних параметрів повітрообміну нормативним вимогам у квартирах після утеплення фасадів і встановлення герметичних віконних блоків;
- виявлення основних чинників зниження ефективності вентиляції, зокрема втрати інфільтрації, відсутності організованого припливу та нестабільності природного повітряного потоку у витяжних каналах;
- випробування простих технічних рішень (стінових припливних клапанів та дахових турбодфлекторів) як засобу стабілізації повітрообміну без додаткових енерговитрат;
- формулювання практичних рекомендацій щодо вдосконалення роботи вентиляційних систем у будинках вторинного житлового фонду з метою забезпечення нормативних параметрів мікроклімату та з урахуванням сучасних вимог енергоефективності та підвищеного рівня герметичності огорожувальних конструкцій.

Об'єкт дослідження У межах дослідження було обрано типовий п'ятиповерховий багатоквартирний житловий будинок з плоским дахом без горища, що складається з кількох під'їздів. Будинок належить до масової забудови 1960 – 1970-х років і експлуатується після виконання заходів термомодернізації.

Зовнішні огорожувальні конструкції з силікатної цегли утеплено мінераловатними плитами відповідно до сучасних вимог до енергоефективності та теплозахисту. У всіх квартирах було замінено віконні та балконні блоки на герметичні металопластикові конструкції, що значно знизило природну інфільтрацію повітря. Міжквартирні двері щільно зачиняються, внутрішні двері переважно не мають вентиляційних решіток.

У кухнях квартир експлуатуються газові плити, що потребує постійного видалення продуктів згоряння і парів вологи, але витяжні електричні

вентилятори встановлено лише в частині приміщень. Система вентиляції будинку є природною витяжною і функціонує без використання механічних засобів.

Кожна квартира має два окремі витяжні канали з кухні та санвузла, які проходять вертикально крізь усі поверхи та виводяться безпосередньо на дах. Вентиляційні канали змонтовано у внутрішніх цегляних стінах і мають переріз, типовий для житлового будівництва того періоду. При цьому організований приплив зовнішнього повітря у приміщення відсутній.

Об'єкт дослідження був обраний як характерний приклад будинку, що пройшов термомодернізацію без реконструкції вентиляційної системи. Це дозволило проаналізувати актуальні проблеми повітрообміну в умовах підвищеної герметичності огорожувальних конструкцій та виявити ефективність простих технічних рішень для покращення роботи наявної вентиляції.

Проведення дослідження. Проведення дослідження передбачало реалізацію чотирьох етапів:

1. Інструментального обстеження системи вентиляції та визначення параметрів мікроклімату;
2. Аеродинамічного розрахунку для оцінки природного повітрообміну за наявних умов;
3. Практичного випробування прийнятих технічних рішень, спрямованих на підвищення ефективності роботи вентиляції;
4. Порівняльного аналізу результатів до і після впровадження технічних рішень для оцінювання їхньої ефективності.

У процесі інструментального обстеження було виконано комплекс заходів, який передбачав:

- візуальний огляд вентиляційних шахт у квартирах різних поверхів задля перевіряння каналів на наявність тріщин, засмічення та руйнування, а також фотофіксацію розташування решіток та їхнього технічного стану;
- вимірювання відносної вологості та температури повітря в точках, віддалених на 1,5...2 м від опалювальних приладів (прилади сертифіковані для інтер'єрних умов);
- вимірювання швидкості та напрямку повітряного потоку у двох різних точках кожного вентиляційного каналу з метою оцінювання однорідності повітряного потоку;
- врахування наявності вітру та опадів, оскільки це могло впливати на природний рух повітря.

Для оцінювання роботи вентиляційної системи було виконано аеродинамічні розрахунки, у межах яких було визначено:

- наявний тиск у вентиляційних каналах, Па:

$$\Delta P = h \cdot g \cdot (\rho_{\text{вн}} - \rho_{\text{зовн}}), \quad (1)$$

де h – висота стояка, м; g – прискорення вільного падіння, м/с²; $\rho_{\text{вн}}$, $\rho_{\text{зовн}}$ – густина внутрішнього та зовнішнього повітря за конкретних температур, кг/м³;

- об'ємну витрату повітря в вентиляційних каналах, м³/год:

$$L = 3600 \cdot V_i \cdot F_i, \quad (2)$$

де V_i – швидкість повітря у витяжному каналі, м/с; F_i – площа поперечного перерізу каналу, м² (розміри каналу 140x140 мм);

Розрахунки дозволили кількісно оцінити умови руху повітря у витяжних каналах, після чого отримані значення об'ємної витрати повітря було порівняно з нормативними показниками [4].

У процесі випробування запропонованих технічних рішень було виконано низку заходів:

- змонтовано стінові припливні клапани у квартирах кожного поверху, після чого проведено повторні інструментальні вимірювання параметрів мікроклімату: температури, відносної вологості та швидкості повітряного потоку у витяжних каналах;
- змонтовано турбодефлектори на оголовках вентиляційних каналів; проведено серію денних і нічних вимірювань витрати витяжного повітря для оцінювання ефективності роботи системи в реальних умовах експлуатації;
- за результатами вимірювань здійснено порівняльний аналіз значень об'ємної витрати повітря до та після впровадження стінових припливних клапанів і турбодефлекторів з нормативними вимогами [4];
- оцінено стабільність розрідження у витяжних каналах за різних теплових і вітрових умов, що дозволило визначити ефективність технічних рішень в умовах змінних параметрів зовнішнього середовища.

Проведений аналіз базового стану вентиляційної системи дозволив виявити низку критичних недоліків її функціонування:

- за умови герметично зачинених металопластикових вікон отримано середні значення швидкості повітря в межах 0,02...0,05 м/с, що при площі живого перерізу каналу 0,0196 м² відповідає об'ємній витраті витяжного повітря 4...7 м³/год. Навіть у найбільш сприятливих умовах фактичні показники виявилися у 4...5 разів нижче за мінімальні нормативні

значення [4];

- герметичні металопластикові вікна та ущільнення міжквартирних дверей суттєво обмежили можливості природного припливу зовнішнього повітря, а єдиними джерелами повітрообміну залишалися незначні нещільності, крізь які здійснювалося нерегульоване і нестабільне вентилявання;
- моніторинг концентрації вуглекислого газу здійснювався в спальнях на висоті 2...2,5 м над рівнем підлоги, причому навіть за умов помірної активності мешканців (двоє дорослих, без активного провітрювання), у нічний період середні показники концентрації CO₂ становили 1200...1500 ppm, що перевищує рекомендовану межу 1000...1200 ppm, встановлену стандартом EN 16798 [12], а в денний час концентрація знижувалася до 800...900 ppm, однак залишалася вищою за бажані показники, що свідчить про нестачу припливного повітря;
- на верхніх поверхах (4 та 5) було зафіксовано нерегулярний, а подекуди зворотний рух повітря у витяжних каналах кухонь і санвузлів;
- порівняння фактичних показників витрати витяжного повітря з вимогами [4] підтвердило, що в умовах відсутності організованого припливу та без технічного посилення системи, вентиляція не забезпечує необхідний рівень повітрообміну, причому навіть найкращі результати у вихідному стані не досягали 20...25 % від нормативних значень витрати повітря.

Отримані значення свідчать про те, що витрати повітря є критично низькими, герметичність будівлі обмежує приплив, перекидання потоків ускладнює видалення забрудненого повітря. Цей аналіз дає змогу обґрунтувати необхідність упровадження технічних рішень для відновлення нормативного повітрообміну. В умовах нестачі фінансування пропонуємо такі рішення:

- стінові припливні клапани;
- дахові турбодефлектори, у яких у разі нестачі розрідження вмикається вентилятор і створює додаткову спонуку руху повітря.

Для оцінювання ефективності цих рішень було проведено розрахунок параметрів повітрообміну для двох ключових приміщень (кухні та санвузла) на кожному поверсі будинку. Розрахунки виконано для трьох сценаріїв: до модернізації, після встановлення стінових припливних клапанів, а також при одночасному застосуванні стінових припливних клапанів та дахових турбодефлекторів. Це дозволило кількісно оцінити ефективність запропонованих технічних рішень і визначити рівень покращення витяжної вентиляції залежно від поверху (рис. 1, 2).

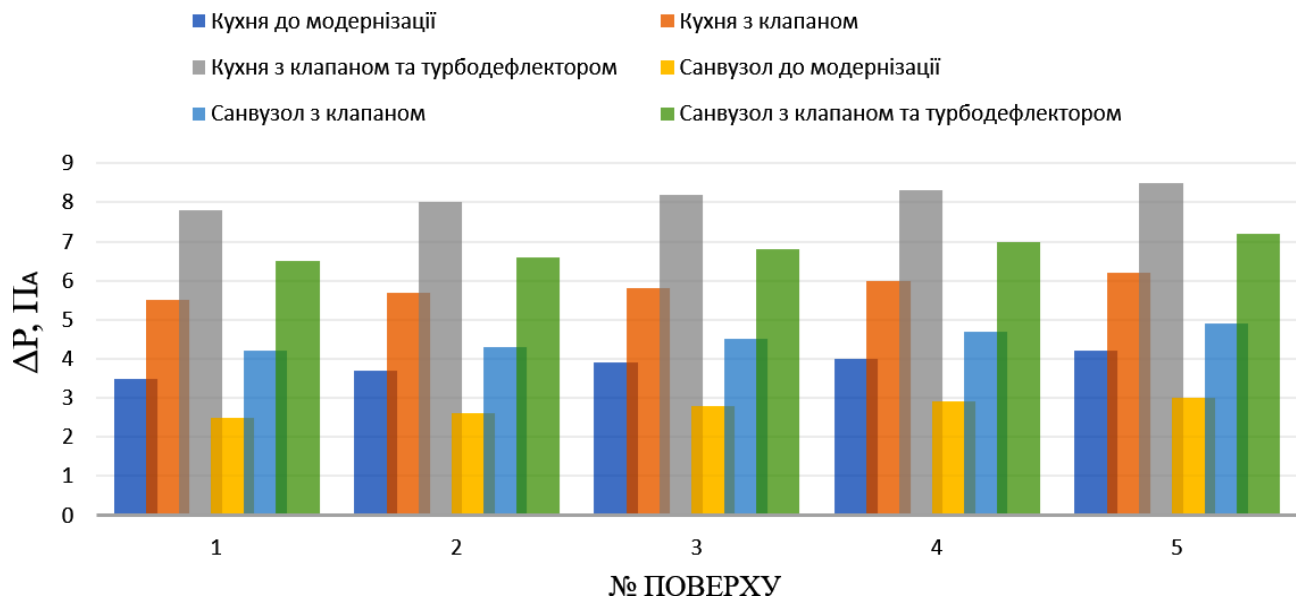


Рис. 1. Результати розрахунку перепаду тиску до та після впровадження технічних рішень

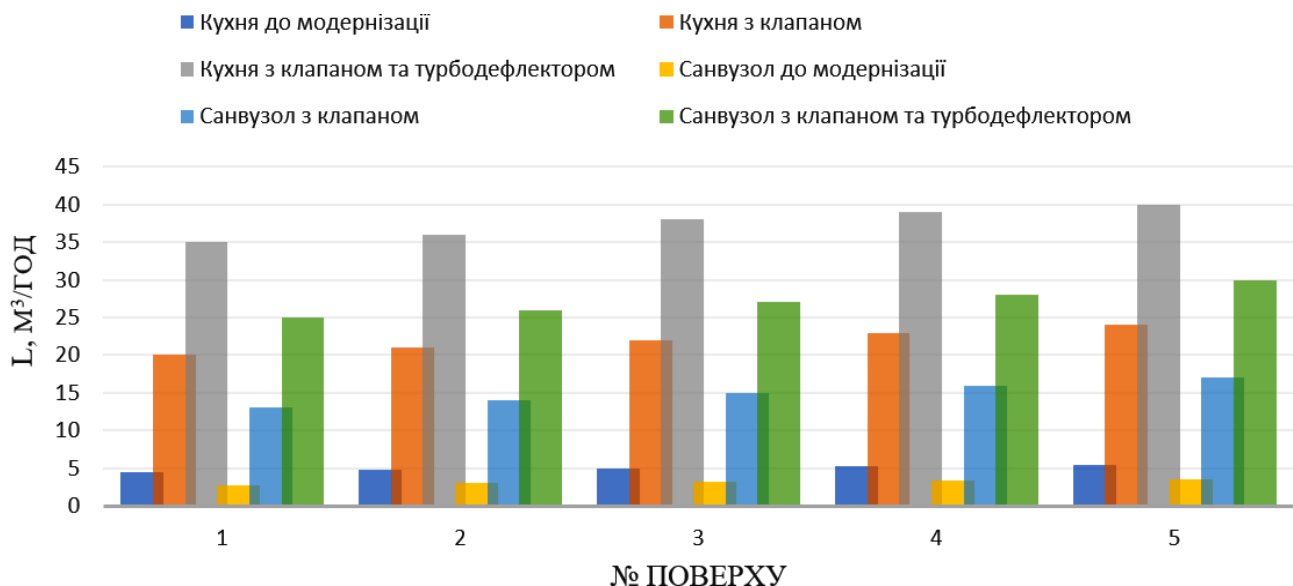


Рис. 2. Результати розрахунку повітрообміну до та після впровадження технічних рішень

До впровадження технічних заходів концентрація CO_2 у спальнях у нічний період становила 1200...1500 ppm, що свідчить про дефіцит припливного повітря та недостатній повітрообмін. Після встановлення стінових припливних клапанів і турбодефлекторів зафіксовано суттєве покращення параметрів повітряного середовища: середній рівень CO_2 знизився до 800...900 ppm, що наближається до рекомендованих значень. Найнижчі показники (до 750 ppm) спостерігалися у квартирах нижніх поверхів, де перепад тиску та надходження зовнішнього повітря були найбільшими.

Крім того, зафіксовано зменшення відносної вологості та концентрацій ЛОС, що підтверджується як об'єктивними вимірюваннями, так і відгуками

мешканців згідно з анкетуванням. Як свідчать отримані результати вимірювань концентрації CO_2 за різних сценаріїв (рис. 3), впровадження пасивних припливних пристроїв у поєднанні з елементами підвищення ефективності витяжної вентиляції дозволяє суттєво покращити якість повітря у приміщеннях. Зниження концентрації CO_2 в нічний період свідчить про підвищення ефективності повітрообміну, що забезпечується без використання енерговитратних механічних систем.

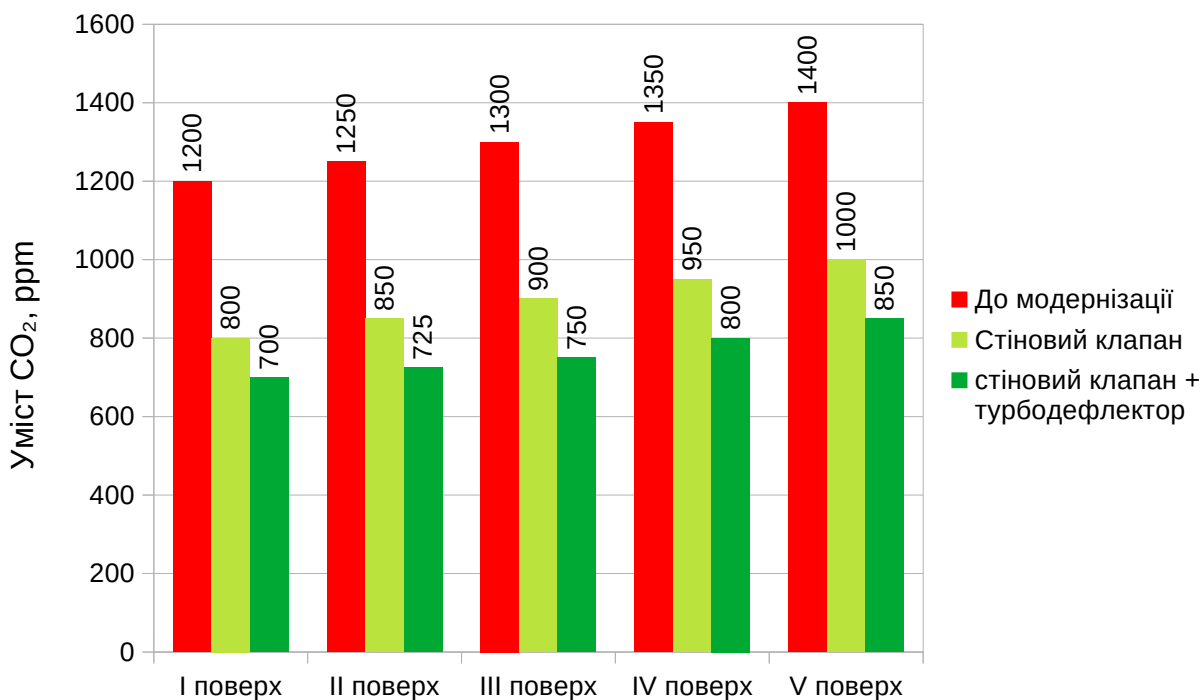


Рис. 3. Уміст CO_2 у спальнях до та після модернізації

Таким чином, отримані дані підтверджують доцільність запропонованих технічних рішень для впровадження в умовах термомодернізованого житлового фонду.

Висновки. Проведене дослідження встановило, що після термомодернізації система природної вентиляції в житлових будинках не забезпечує належного повітрообміну відповідно до вимог чинних нормативних документів. Основними факторами, що обумовлюють зниження ефективності вентиляції, є підвищена герметичність огорожувальних конструкцій, відсутність організованого припливу зовнішнього повітря, а також зменшення природного перепаду тиску, зокрема на верхніх поверхах будинків. У ряді випадків було зафіксовано інверсію повітряного потоку у витяжних каналах, що призводить до порушення спрямованості повітрообміну та негативно впливає на загальний повітряний баланс у приміщеннях. Розрахунки та натурні вимірювання показали, що за відсутності припливу повітря витрати з кухонь і

санвузлів становлять лише 3...5 м³/год, що є критично недостатнім порівняно з нормативними значеннями. Це супроводжується підвищенням концентрації CO₂ в нічний час до 1200...1500 ppm, що свідчить про недостатній повітрообмін у житлових кімнатах. Впровадження комбінації припливних стінових клапанів та турбодефлекторів забезпечило збільшення витрати витяжного повітря у 5 разів порівняно з початковими показниками. Хоча нормативного значення не досягнуто, забезпечено стабільну роботу вентиляції за умов низького перепаду тиску. Крім того, середній рівень CO₂ знизився до 800 – 900 ppm, що значно покращує якість повітря у приміщеннях. Запропоновані технічні рішення не потребують складного монтування або енерговитрат, тому можуть бути рекомендовані для поетапного впровадження в житлових будинках вторинного фонду. Результати дослідження свідчать про ефективність модернізації природної вентиляції на основі поєднання доступних пасивних засобів для покращення внутрішніх умов приміщень.

Перспективи подальших досліджень. У межах подальших досліджень планується розширити застосування описаної методики на інші типи житлової забудови, зокрема на багатоповерхові будинки зі складною вентиляційною схемою. Особливу актуальність має оцінка ефективності такої вентиляції в умовах теплого періоду року, коли природний перепад тиску є мінімальним. Крім того, перспективним вважається дослідження динаміки змін параметрів мікроклімату в реальному часі, а також впровадження цифрового моніторингу для оперативного оцінювання роботи вентиляційної системи та прийняття рішень щодо її адаптації до поточних умов експлуатації.

References

1. Cabinet of Ministers of Ukraine. On approval of the Procedure for using funds from the State Decarbonisation and Energy Efficiency Transformation Fund: Resolution No. 761, dated June 21, 2024. Official Bulletin of Ukraine, No. 761. (in Ukrainian)
2. Ortiz M., Itard L., Bluysen P. M. "Indoor environmental quality related risk factors with energy-efficient retrofitting of housing: A literature review". Energy and Buildings, 221, 2020, 110102. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110102>
3. Khokhlov O. H., Kozar V. I., Kozar L. M. "Housing Fund of Ukraine - Global Problems of the Present". Bulletin of Khmelnytsky National University, 3, 2019, 207-211. <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2019-270-3-217-221>
4. Heating, ventilation and air conditioning. DBN V.2.5-67:2013, Ukrarkhbudinform, 2013. (in Ukrainian)
5. Buildings and structures. Residential buildings. Basic provisions (with Amendment No. 1). DBN V.2.2-15:2019, Ukrarkhbudinform, 2019. (in Ukrainian)

6. Chen Y., Zhuang W., Gu Y., Yang Z. "Correlating surface mold contamination with airborne pollution under mild indoor air disturbance: A case study of *Aspergillus niger*". *Building and Environment*, 266, 2024, 112107. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.112107>
7. Kryvyi Rih City Council. "Warm House" Program for implementing energy saving measures in multi-apartment buildings for their co-owners in Kryvyi Rih for 2012–2026: Decision No. 862, dated December 29, 2011. Kryvyi Rih. (in Ukrainian)
8. Abu Dabous S., Hosny F. "A review of building envelope retrofitting methods for improving energy efficiency, aesthetic, and indoor environmental quality". *Energy Nexus*, 18, 2025, 100407. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2025.100407>
9. Mucha W., Mainka A., Brągoszewska E. "Impact of ventilation system retrofitting on indoor air quality in a single-family building". *Building and Environment*, 262, 2024, 111830. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111830>
10. Coggins A. M., Wemken N., Mishra A. K., Sharkey M., Horgan L., Cowie H., Bourdin E., McIntyre B. "Indoor air quality, thermal comfort and ventilation in deep energy retrofitted Irish dwellings". *Building and Environment*, 219, 2022, 109236. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109236>
11. Zhang B., Norbäck D., Cheng H., Li B., Zhang Y., Zhao Z., Deng Q., Huang C., Yang X., Lu C., Qian H., Wang T., Zhang L., Yu W., Wang J., Zhang X. "Dampness and mould in Chinese homes and sick building syndrome (SBS) symptoms - Associations with climate, family size, cleaning and ventilation". *Building and Environment*, 245, 2023, 110878. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110878>
12. Energy performance of buildings. Ventilation for buildings. Part 1: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. EN 16798-1:2019. European Committee for Standardization. Brussels: CEN, 2019. (in Ukrainian)

UDC 697.921.2

Dr Hab., Prof. **Oleg Zamytskyi**,
olegvladlam@knu.edu.ua, ORCID: 0000-0002-8113-6369,
Kryvyi Rih National University
Professor **Vadym Korbut**,
korbut.vp@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-4560-5463,
Kyiv National University of Construction and Architecture
PhD, Assoc. Prof. **Alona Yalova**,
al.yalovaya@knu.edu.ua, ORCID: 0000-0003-0926-542X,
Senior Lecturer **Natalia Bondar**
bondar_nv@knu.edu.ua, ORCID: 0000-0002-8713-265X
Kryvyi Rih National University

ASSESSMENT OF PASSIVE VENTILATION EFFICIENCY OF A THERMALLY MODERNIZED RESIDENTIAL BUILDING

The article deals with the problem of reducing the efficiency of natural ventilation in thermally modernized residential buildings, which are typical for mass construction in the mid-twentieth century. The study is a continuation of the complex applied work within the framework of the municipal project to support condominiums and the Warm House program aimed at increasing energy efficiency and improving sanitary and hygienic living conditions in the multi-apartment housing stock. The paper analyzes the changes that occur after facade insulation, window and door sealing, and a reduction in outdoor air infiltration, which traditionally ensured the operation of exhaust ducts in buildings without mechanical ventilation. The study used a step-by-step methodology: an instrumental survey of 10 apartments on different floors, field measurements of microclimate parameters, and aerodynamic calculations of pressure drop and volume air flow in exhaust ducts. Particular attention was paid to the analysis of the ventilation system in kitchens and bathrooms, which, according to current standards, must have a constant exhaust air removal. The measurements showed that without an organized supply of outside air, the flow rate from the exhaust ducts does not exceed 3 to 5 m³/h, which is critically insufficient. There were also cases of airflow inversion on the upper floors and an excess of CO₂ concentration in the bedrooms at night up to the level of 1200 – 1500 ppm. To solve the identified problems, a combined technical solution was proposed based on the installation of supply wall valves and turbo deflectors at the exhaust channel heads. Tests have shown that after the introduction of these devices, the volume air flow rate increased by 5 to 10 times: up to 30 to 40 m³/h from the kitchen and up to 20 to 30 m³/h from the bathrooms. There was also a significant improvement in indoor air quality: the CO₂ concentration in the bedrooms dropped

to 750 – 900 ppm. A decrease in humidity and volatile organic compounds was recorded, which was confirmed by both objective measurements and feedback from residents. The proposed solution does not require capital intervention in the supporting structures and additional energy costs, so it can be effectively applied in conditions of limited budget. The research materials can be used to develop recommendations for the modernization of ventilation systems in residential buildings of the secondary stock. In further work, it is planned to investigate the effectiveness of natural ventilation in the warm season and extend the analysis to buildings with other types of ventilation systems.

Keywords: natural ventilation, air exchange, thermal modernization, passive supply valves, turbo deflector, energy efficiency, microclimate