

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ В БУДІВЛЯХ: ОПТИМІЗАЦІЯ ВИТРАТ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІКРОКЛІМАТУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглядається енергоефективність систем вентиляції та кондиціювання повітря у будівлях. Проаналізовано вплив витрат вентиляційного повітря на енергоспоживання та якість мікроклімату приміщень. Розглянуто методи оптимізації повітрообміну, включно з витісняючою вентиляцією, місцевими припливно-витяжними установками та комбінованими системами природної і механічної вентиляції. Показано, що використання регульованих систем та утилізація теплоти видаленого повітря дозволяє знизити енергоспоживання до 50 % без погіршення мікроклімату. Наголошено на значенні математичного моделювання, автоматизації систем та застосуванні датчиків якості повітря для забезпечення комфорту, енергоефективності та здорового мікроклімату.

Ключові слова: енергоефективність, вентиляція, кондиціювання повітря, витісняюча вентиляція, припливно-витяжні системи, мікроклімат, утилізація теплоти, регулювання повітряних потоків, автоматизація систем, датчики якості повітря.

Abstract

The energy efficiency of ventilation and air conditioning systems in buildings is considered. The impact of ventilation air consumption on energy consumption and indoor climate quality is analyzed. Methods for optimizing air exchange are considered, including displacement ventilation, local supply and exhaust units, and combined natural and mechanical ventilation systems. It is shown that the use of controlled systems and the utilization of exhaust air heat can reduce energy consumption by up to 50% without worsening the indoor climate. The importance of mathematical modeling, system automation, and the use of air quality sensors to ensure comfort, energy efficiency, and a healthy indoor climate is emphasized.

Keywords: energy efficiency, ventilation, air conditioning, displacement ventilation, supply and exhaust systems, microclimate, heat recovery, air flow control, system automation, air quality sensors.

Вступ

Експлуатація систем вентиляції та кондиціювання повітря значно впливає на споживання енергії будівлями. Витрати енергії, необхідні забезпечення мікроклімату, пов'язані з необхідністю подачі певних обсягів вентиляційного повітря, попередньо нагрітого чи охолодженого, зволоженого чи осушеного. Зниження витрати вентиляційного повітря призводить до економії енергії, але водночас може спричинити погіршення якості повітря, а отже, і мікроклімату приміщень.

Таким чином, вимоги забезпечення якісного мікроклімату приміщень та енергоефективності систем вентиляції та кондиціювання повітря можуть суперечити. Тому при проектуванні та експлуатації зазначених систем необхідно знаходити стратегію та технічні рішення, що задовольняють як вимоги низького споживання енергії, так і забезпечення необхідного мікроклімату приміщень.

При проектуванні енергоефективних будівель склалися певні принципи та вимоги до конструкцій систем вентиляції та кондиціювання повітря, які формуються таким чином [1, 2, 3, 4]:

- розрахункова витрата енергії на систему вентиляції та кондиціювання має бути мінімальною;
- прийнятий розрахунковий повітрообмін повинен забезпечувати видалення шкідливостей, що виділяються людьми, обладнанням, будівельними конструкціями, оздоблювальними матеріалами, меблями тощо;
- системи природної та механічної вентиляції та кондиціювання повинні бути аеродинамічно стійкими;

- слід забезпечити регулювання повітряних потоків, що покращують якість повітря та знижують витрати енергії на його переміщення;
- повинна бути організована утилізація теплоти вентиляційного повітря, що видаляється;
- необхідний акустичний захист від шуму, що генерується системами механічної вентиляції;
- слід організувати якісну експлуатацію та технічне обслуговування систем.

Результати дослідження

Вирішення проблеми з економії енергії в системах вентиляції та кондиціонування повітря починається при розробці проектної документації на будівлю або споруду. Енергозбереження є багатоплановим завданням і торкається всіх етапів проектування – від вибору вихідних даних до проекту автоматизації. Основним інструментом щодо об'ємних витрат повітря та її характеристик, організації повітрообміну у приміщеннях, аеродинамічних показників систем служить математичне моделювання. Його застосування дозволяє оптимізувати умови організації мікроклімату приміщень у літній та зимовий періоди за величиною енерговитрат.

При вирішенні загального завдання оптимізації систем вентиляції та кондиціонування повітря повинні враховуватися окремі приватні завдання, що впливають на їхню загальну енергоефективність.

Наприклад, теплова потужність, яка споживається припливною системою вентиляції в зимовий період для підігріву припливного повітря, визначається за формулою [5]

$$Q = L\rho_3(h_b - h_3),$$

де Q – теплова потужність, кВт;

L – продуктивність, м³/год;

ρ_3 – щільність зовнішнього повітря, кг/м³;

h_b, h_3 – ентальпія відповідно внутрішнього та зовнішнього повітря, кДж/кг.

Потужність на валу вентилятора вказаної системи [6]

$$N = \frac{L\Delta p}{\eta} \beta,$$

де Δp – тиск, Па;

η – коефіцієнт корисної дії вентилятора;

β – коефіцієнт запасу потужності.

З наведених формул видно, що зменшення енергоспоживання залежить від зменшення значень входять до них величин (переважно від продуктивності вентиляційної системи повітря).

Великий вплив на кількість енергії, яка споживається системою вентиляції та кондиціонування повітря, надає правильний вибір подачі та розподілу припливного повітря у приміщенні. Комфортні умови в ньому досягаються за рахунок змішування припливного та внутрішнього повітря до прийнятних кондицій або заміщення відпрацьованого повітря, а також вибору робочої різниці температур [5]:

$$\Delta t_p = t_{вн} - t_{пр},$$

Одним із способів підвищення ефективності систем є використання витісняючої вентиляції. Її перевага полягає у підвищенні ефективності повітрообміну в робочій зоні та зниженні енерговитрат на підготовку повітря. Конвективні потоки переносять чисте повітря припливу в зону дихання людини.

У системах витісняючої вентиляції припливне повітря подається в зону приміщення, що обслуговується, через повітророзподільники, розташовані на рівні підлоги або вбудовані в підлогу. Його температура має бути на 1...8 °С нижче температури повітря в приміщенні.

Видалення забрудненого повітря, що витісняється у верхню зону, здійснюється під стелею приміщень. Схема руху потоків повітря показано на рис. 1 [2, 8].

Стійка робота витісняючої вентиляції забезпечується за умови, що об'єми повітря, що подається, дорівнюють сумі об'ємів повітря в конвективних потоках над тепловими джерелами, розташованими вище рівня обслуговуваної зони [5]:

$$V_1 = V_2 + V_3 + \dots + V_i,$$

де V_1 – обсяг повітря, що подається, м³/год;

$V_2, V_3, \dots, V_i$ – обсяги повітря в конвективних потоках, м³/год.

Місцеві витяжні та припливні установки у системах промислової вентиляції використовуються досить давно. Подача чистого повітря безпосередньо на місце знаходження людини є перевіреним прийомом забезпечення її якості. Вже зараз цей прийом може бути використаний для квартири,

кабінету чи офісу. Пропонується здійснювати приплив свіжого та відбір відпрацьованого повітря безпосередньо в зоні дихання: біля робочого столу, крісла чи узголів'я ліжка [7].

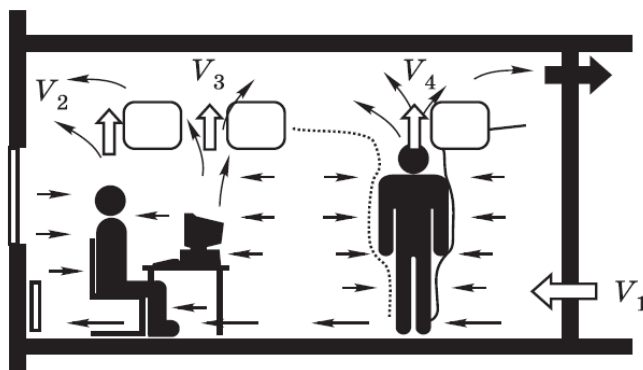


Рис. 1. Схема руху потоків повітря при витісняючій вентиляції у невинорбничих приміщеннях

Основні переваги місцевих систем вентиляції полягають у можливості індивідуального регулювання мікроклімату та економії теплоти на підготовку повітря та електроенергії на привід вентилятора.

Вид вентиляції (природної чи механічної) для будівель різного призначення істотно позначається як якості повітря, і витратах енергії його приготування. У системах механічної вентиляції витрата енергії за рахунок підготовки повітря та приводу вентиляторів більша, ніж у системах природної вентиляції при одних і тих же його витратах. У той же час механічна вентиляція краще забезпечує стабільність повітрообміну та контроль якості мікроклімату. Вибір виду вентиляції відіграє істотну роль при організації вентиляції особливо житлових будинків. Пріоритетним є максимальне використання природної вентиляції [9].

Встановлення герметичних вікон призвело до втрати працездатності систем природної вентиляції, що спричинило різке погіршення якості повітря в квартирах, зростання захворюваності, порушення вологого режиму. Відкриття вікон, кватирок відновлює роботу природної вентиляції, але призводить до надмірного вентилявання приміщень і перевитрати енергії. Забезпечити нормальний повітрообмін у квартирах та виключити появу плісняви на стінах без організованої подачі зовнішнього повітря неможливо. Можна використовувати припливно-витяжну вентиляцію із центральним підігрівом повітря, проте це збільшує вартість системи вентиляції [10].

У країнах широко застосовується схема механічної витяжної вентиляції з приточними децентралізованими пристроями. Приточні пристрої встановлюються у віконній рамі, блоці або стіні над вікном або поруч із ним. Прикладом може бути автоматичний саморегульований припливний клапан АСТАТО серії 2А. Номінальні витрати повітря - 45, 30 та 22 м³/год. Принцип дії ґрунтується на переміщенні ролика по каналу параболічного профілю. У діапазоні тисків 20...100 Па витрата змінюється лише на 15 м³/год. Клапани мають звукоізолюючу властивість, виконують функції зворотного клапана [11].

Відпрацьоване повітря видаляється з приміщень через витяжні решітки стояками і колекторами за допомогою центрального механічного вентилятора. Комбінація пасивного припливу з механічною витяжною дозволяє в 3 – 4 рази знижувати витрати на забезпечення вентилявання будівлі в порівнянні з традиційною механічною припливно-витяжною вентиляцією. Регулювати інтенсивність природної вентиляції можна за допомогою витяжних вентиляційних решіток.

У системах як природної, і механічної вентиляції ефективне використання енергії може бути забезпечене з організацією змінного режиму витрати повітря за результатами поточного контролю концентрації шкідливостей.

У вентиляованих приміщеннях може бути встановлений один із наступних датчиків якості повітря:

- датчик вуглекислого газу;
- датчик газової суміші, що вимірює вміст газів та парів у внутрішньому повітрі;
- датчик присутності.

При використанні систем, що регулюються залежно від мінливої концентрації забруднюючих речовин, економія енергії досягає до 50 % на рік (у порівнянні з системами з постійною витратою

повітря) без погіршення якості повітря. Засобом економії теплової енергії при організації вентиляції служить утилізація теплоти повітря, що видаляється [12].

Висновки

Енергоефективність систем вентиляції та кондиціонування повітря є комплексним завданням, що потребує збалансованого підходу між мінімізацією витрат енергії та забезпеченням високої якості мікроклімату приміщень. Основними напрямками підвищення енергоефективності є оптимізація витрат повітря, регулювання повітряних потоків, утилізація теплоти видаленого повітря, використання витісняючої вентиляції та застосування місцевих припливно-витяжних систем. Математичне моделювання дозволяє прогнозувати та оптимізувати енергоспоживання систем вентиляції та кондиціонування у різні сезони року, враховуючи як теплові, так і аеродинамічні показники.

Застосування витісняючої вентиляції та місцевих припливно-витяжних систем сприяє ефективному розподілу повітря у робочій зоні, підвищує комфорт перебування та дозволяє значно зменшити енергоспоживання. Комбіновані системи природної та механічної вентиляції з регулюванням за концентрацією шкідливостей або присутністю людей забезпечують економію до 50 % енергії без погіршення якості повітря. Впровадження автоматизованих датчиків якості повітря, CO₂, газових сумішей та присутності, а також використання утилізації теплоти видаленого повітря, є ключовими заходами для досягнення енергоефективності та збереження здорового мікроклімату.

Для житлових будинків пріоритетним є максимальне використання природної вентиляції з контролем інтенсивності та доповненням механічними системами у випадках недостатньої продуктивності або герметизації приміщень. Правильне проектування та експлуатація систем вентиляції та кондиціонування дозволяє одночасно забезпечити високу якість повітря, комфорт перебування та значну економію енергетичних ресурсів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування. – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. – 71 с.
2. Попов А. П. Основи вентиляційних систем / А. П. Попов, О. В. Кравченко. – Харків: ХНАМГ, 2015. – 152 с.
3. ДСТУ Б В.2.5-38:2008. Інженерне обладнання будівель і споруд. Вентиляція і кондиціонування. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2008. – 26 с.
4. ДСТУ ISO 50001:2020. Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанови щодо використання (ISO 50001:2018, IDT). – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2020. – 32 с.
5. Системи управління вентиляцією. Новітні рішення / ред. П. М. Руденко. – Львів: «Теплоенергопром», 2018. – 198 с.
6. Шульга М.О. Вентиляція та кондиціонування повітря. Навчальний посібник. / М.О. Шульга, І.П. Юхно. – Харків: ХНАМГ, 2004. – 148 с.
7. Енергоефективні інженерні системи клімат-контролю приміщень ювелірного виробництва / О.І. Ободянська, О.В. Мельник/ LIV науково-технічна конференція ФБЦЕІ ВНТУ (Електронне наукове видання матеріалів конференції, м. Вінниця, 2025. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2025/paper/view/23768>.
8. Джеджула В.В. Вентиляція та кондиціонування громадських об'єктів: навчальний посібник / Джеджула В.В. – Вінниця: ВНТУ, 2024. – 71 с.
9. Огляд систем вентиляції повітря громадських будівель / О.І. Ободянська, Г.О. Меньшиков // Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція “Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи” (Електронне наукове видання матеріалів конференції, м. Вінниця, 2020. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2020/paper/view/8620/7192>.
10. Слободян Н.М. Організація та технологія проектування систем теплопостачання та вентиляції: навчальний посібник / Слободян Н.М., Панкевич О.Д., Ободянська О.І. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 102 с.
11. Пусконаладжувальні роботи в інженерних системах / О.І. Ободянська / LIII науково-технічна конференція ФБЦЕІ ВНТУ (Електронне наукове видання матеріалів конференції, м. Вінниця, 2024. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2024/paper/view/20526/17023>.
12. Налагодження та експлуатація систем вентиляції / Ободянська О.І., Дубіняк В.В.// Міжнародна науково-технічна конференція «Інноваційні технології в будівництві» Електронне наукове видання матеріалів конференції, м. Вінниця, 2024. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2024/paper/view/22487>.

Ободянська Ольга Ігорівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерних систем у будівництві Вінницького національного технічного університету, ORCID: 0000-0003-4464-3537, email: olha.obodyanska@i.ua.

Кирилюк Ігор Юрійович – студент групи ТГ-24м факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії Вінницького національного технічного університету, e-mail: igor.kirilyuk7896@gmail.com.

Obodyanska Olha – PhD, associate professor of department of engineering systems in construction Vinnytsia National Technical University, ORCID: 0000-0003-4464-3537, email: olha.obodyanska@i.ua.

Kirilyuk Ihor – student group TG-24 of the Faculty of Civil and Environmental Engineering, Vinnytsa National Technical University, e-mail: igor.kirilyuk7896@gmail.com.