

УДК 697.9

ВЕНТИЛЯЦІЙНІ СИСТЕМИ В ЦИВІЛЬНОМУ ТА ПРОМИСЛОВОМУ БУДІВНИЦТВІ: КОМПЛЕКСНИЙ ОГЛЯД І ШЛЯХИ МОДЕРНІЗАЦІЇ

Кандидати техн. наук Ю. І. Чайка, Ю. О. Бурда, Ю. О. Півненко, Р. Б. Ткаченко,
д-р техн. наук І. О. Редько

VENTILATION SYSTEMS IN CIVIL AND INDUSTRIAL CONSTRUCTION: A COMPREHENSIVE REVIEW AND MODERNIZATION PATHWAYS

PhD (Tech.) Y. I. Chaika, PhD (Tech.) Y. O. Burda, PhD (Tech.) Y. O. Pivnenko,
PhD (Tech.) R. B. Tkachenko, Dr. Sc. (Tech.) I. O. Redko

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.211.2025.327331>



Анотація. У статті розглянуто вентиляційні системи в цивільному та промисловому будівництві з акцентом на їхнє сучасне функціонування та перспективи модернізації. Проаналізовано основні типи вентиляції, їхні технічні характеристики та особливості експлуатації в різних типах будівель. Особливу увагу приділено системам очищення повітря та зниженню шкідливих викидів, що є основним фактором у контексті екологічної безпеки. Запропоновано шляхи оптимізації вентиляційних мереж, впровадження енергоефективних технологій і автоматизації процесів для підвищення продуктивності та зниження витрат на обслуговування. Також проаналізовано відмінності у вимогах до вентиляції громадських і промислових будівель, що дає змогу врахувати специфіку кожного типу об'єкта. Дослідження базовано на актуальних наукових джерелах і включає порівняльний аналіз сучасних рішень для забезпечення комфортного та безпечного мікроклімату.

Ключові слова: вентиляційні системи, промислове будівництво, громадські будівлі, очищення повітря, модернізація вентиляції, енергоефективність.

Abstract. This article provides an in-depth analysis of ventilation systems in civil and industrial construction, focusing on their current state, challenges, and pathways for modernization. The research explores the design, operation, and maintenance of ventilation networks, emphasizing the critical role of air quality control in both public and industrial facilities. Special attention is given to air purification technologies that mitigate harmful emissions, contributing to environmental sustainability and compliance with modern safety standards. The study highlights the importance of balancing energy efficiency with performance by integrating advanced filtration systems, heat recovery units, and automated climate control solutions.

Furthermore, the article examines the distinct ventilation requirements of civil and industrial buildings, outlining the differences in air exchange rates, pollutant management strategies, and regulatory considerations. While civil buildings prioritize occupant comfort and indoor air quality, industrial facilities often face more complex demands due to high pollutant loads and process-generated contaminants. This contrast underscores the necessity for adaptive ventilation designs tailored to the specific needs of each building type.

The research also addresses key trends in ventilation modernization, including the adoption of smart building technologies, IoT-enabled sensors for real-time air quality monitoring, and the use of renewable energy sources to power ventilation systems. The integration of digital tools not only enhances system responsiveness but also enables predictive maintenance, reducing operational costs and extending equipment lifespan.

By synthesizing recent scientific literature and case studies, the article presents a comprehensive overview of best practices for optimizing ventilation systems. It advocates for a holistic approach that considers technological advancements, sustainability goals, and evolving building codes. The findings aim to provide engineers, architects, and facility managers with valuable insights to guide decision-making in designing and upgrading ventilation infrastructure. Ultimately, the research underscores the pivotal role of modern ventilation systems in fostering healthy, energy-efficient, and future-ready built environments.

Keywords: Ventilation systems, industrial construction, public buildings, air purification, ventilation modernization, energy efficiency.

Вступ. Вентиляційні системи відіграють головну роль у забезпеченні комфортних і безпечних умов перебування людей у громадських будівлях, а також у підтримці належних технологічних процесів на промислових об'єктах. Ефективний повітрообмін сприяє видаленню забруднень, регулюванню вологості, температури, що безпосередньо впливає на здоров'я людей, збереження будівельних конструкцій і оптимізацію виробничих процесів. У сучасному будівництві дедалі більше уваги приділяють не лише ефективності вентиляції, а й екологічним аспектам, таким як зниження викидів шкідливих речовин і мінімізація енергоспоживання.

Актуальність теми обумовлена зростаючими вимогами до якості повітря, посиленням екологічних норм і необхідністю впровадження інноваційних рішень для оптимізації роботи вентиляційних мереж. Громадські та промислові будівлі мають суттєві відмінності у вентиляційних потребах, що потребує комплексного підходу для проєктування, модернізації та експлуатації систем. Тому дослідження сучасних тенденцій, технологій очищення повітря та шляхів підвищення енергоефективності є важливим кроком до створення більш стійких і високопродуктивних вентиляційних рішень.

У цій роботі проаналізовано особливості функціонування вентиляційних систем у різних типах будівель, розглянуто сучасні методи очищення повітря та запропоновано шляхи вдосконалення

сучасних технологій. Результати дослідження можуть бути корисними для інженерів, архітекторів і фахівців з експлуатації будівель у контексті проєктування нових і модернізації наявних вентиляційних мереж.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останні дослідження у сфері вентиляції громадських і промислових будівель зосереджені на підвищенні енергоефективності, зниженні негативного впливу на довкілля та інтеграції автоматизованих систем управління повітрообміном. У працях сучасних науковців досліджено новітні підходи для очищення вентиляційних викидів, включаючи використання адсорбційних фільтрів, електростатичних осаджувачів і плазмових технологій, що дають змогу суттєво зменшити концентрацію шкідливих речовин у повітрі [1, 2].

Значну увагу приділено питанням балансування вентиляційних систем у великих будівлях, де нерівномірний розподіл повітря може знижувати ефективність роботи всієї мережі. Дослідники пропонують впровадження інтелектуальних датчиків, які в режимі реального часу аналізують якість повітря та автоматично регулюють роботу вентиляційних установок для підтримання оптимальних параметрів мікроклімату [3].

Наукові публікації останніх років також висвітлюють різницю у вимогах до вентиляції громадських і промислових об'єктів. Наприклад, у громадських будівлях пріоритет надано створенню комфортних умов для людей, тоді як у

промислових приміщеннях основна увага зосереджена на ефективному видаленні шкідливих газів, пилю і надлишкового тепла, що утворюється в процесі виробництва [4, 5].

Однак аналіз літератури показує, що існує недостатня кількість комплексних досліджень, які б поєднували технічні, екологічні та економічні аспекти модернізації вентиляційних систем. Це свідчить про необхідність подальших досліджень для розроблення універсальних рішень, що враховують специфіку різних типів будівель, забезпечуючи при цьому оптимальний баланс між енергоефективністю і якістю повітря [6].

Визначення мети та завдання дослідження. Проаналізувати сучасний стан вентиляційних систем у громадських і промислових будівлях, виявити основні проблеми та розробити рекомендації щодо їх модернізації з урахуванням енергоефективності, якості повітря та екологічної безпеки.

Завдання дослідження:

- провести огляд наукової літератури і актуальних досліджень у сфері вентиляційних систем для виявлення основних тенденцій та інноваційних рішень;
- дослідити відмінності у вимогах до вентиляції громадських і промислових будівель, зокрема щодо повітрообміну, фільтрації та контролю викидів;
- проаналізувати сучасні методи очищення вентиляційних викидів та оцінити їхню ефективність для різних типів забруднень;
- оцінити можливості впровадження енергоефективних технологій, таких як рекуперация тепла, змінні витрати повітря (VAV-системи) і автоматизоване управління мікрокліматом;
- розробити практичні рекомендації щодо оптимізації вентиляційних мереж з урахуванням технічних, екологічних та економічних факторів;
- запропонувати напрями подальших досліджень для створення більш адаптивних

і стійких вентиляційних систем у сучасному будівництві.

Такий підхід допоможе створити ґрунтовну наукову базу для вдосконалення вентиляційних систем, що сприятиме підвищенню комфорту, безпеки та енергоефективності будівель.

Основна частина досліджень. Для початку необхідно класифікувати вентиляційні системи, використовувані в громадських і промислових будівлях. Вентиляційні системи можуть бути природними, механічними або змішаними. Природні системи забезпечують обмін повітря за рахунок різниці температур і тиску, тоді як механічні системи використовують вентилятори для примусового обміну повітрям. У промислових будівлях зазвичай застосовано механічні та комбіновані системи через високі вимоги до контролю за забрудненням повітря, тоді як у громадських будівлях можуть бути переважно природні або змішані системи [7].

Одним з основних завдань дослідження є вивчення впливу вентиляційних систем на навколишнє середовище та енергоефективність. Висока енергоємність вентиляційних установок може стати значною проблемою для зниження витрат на опалення, охолодження та вентиляцію. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є використання рекуперативної теплої технології, що дає змогу витягувати тепло з вихідного повітря і передавати його на припливне, що знижує загальне енергоспоживання будівлі. Також важливо враховувати впровадження автоматичних систем управління вентиляцією для оптимізації споживання енергії залежно від погодних умов, кількості людей у приміщенні або рівня забруднення повітря.

Важливою складовою вентиляційних систем є технології очищення повітря від забруднень. У промислових будівлях основними джерелами забруднення є шкідливі гази, пари, пил та інші шкідливі

частки, що виникають під час виробничих процесів. Очищення повітря здійснюється за допомогою фільтрів різних типів: механічних, електростатичних, хімічних або комбінованих. Вибір методу очищення залежить від типу забруднень і специфіки виробничого процесу. Також вивчають новітні технології, такі як плазмова обробка та фотокаталітичне очищення, які показують гарні результати в очищенні повітря від органічних забруднювачів [8].

Модернізація вентиляційних систем є важливою складовою розвитку будівельної галузі. Основний напрям модернізації – інтеграція інтелектуальних систем управління, що сприяють оптимізації витрат енергії і підвищенню ефективності роботи вентиляційних установок. За допомогою сенсорних технологій можна здійснювати моніторинг якості повітря в реальному часі, регулювати потоки повітря залежно від змін у зовнішніх умовах, а також автоматично очищати або фільтрувати повітря в разі необхідності. Застосування таких рішень дає змогу значно знизити витрати на обслуговування вентиляційних систем і продовжити їхній термін служби [9].

Громадські та промислові будівлі мають суттєві відмінності у вентиляційних вимогах. У громадських будівлях основним завданням є забезпечення комфортних умов для перебування людей, таких як регулювання температури та вологості повітря, що потребує точного розрахунку витрат повітря і відповідних систем кондиціонування. Водночас у промислових будівлях часто існує потреба у швидкому видаленні шкідливих газів і пилу, для чого потрібні значно більша потужність вентиляційних установок і застосування спеціалізованих фільтраційних систем. Різниця у вимогах до вентиляції потребує індивідуального підходу для проектування та вибору технологічних рішень для кожного типу будівлі [10].

Ураховуючи тенденції в розвитку технологій і зростаючі вимоги до ефективності та екологічності

вентиляційних систем, одним із напрямів для подальших досліджень є інтеграція вентиляційних мереж з іншими інженерними системами будівлі, такими як освітлення, опалення та охолодження. Це дасть змогу створити єдину автоматизовану систему управління мікрокліматом, що підвищить загальну ефективність і знизить енергоспоживання. Також необхідно дослідити вплив нових матеріалів і технологій на покращення експлуатаційних характеристик вентиляційних систем.

Порівняльна характеристика вентиляційних систем у громадських і промислових будівлях

Вентиляційні системи є необхідною частиною інженерного забезпечення як громадських, так і промислових будівель. Однак вимоги до їх проектування та функціонування значно відрізняються через особливості кожного типу будівель, що визначає складність і технічні характеристики вентиляційних систем.

Призначення та основні вимоги

Громадські будівлі. Основним завданням вентиляції в громадських будівлях є забезпечення комфортного мікроклімату для людей, що включає контроль температури, вологості, чистоти повітря та постійний повітрообмін. Такі будівлі потребують системи вентиляції, що забезпечує здоров'я та комфорт відвідувачів (наприклад в офісах, школах, лікарнях, магазинах). У цих випадках важливими є гнучкість системи для адаптації до різних умов (кількість людей, зміни погоди, рівень забруднення повітря тощо).

Промислові будівлі. Вентиляція промислових об'єктів має складніше завдання. Вона має не лише забезпечувати комфортні умови для працівників, а й видаляти шкідливі викиди, пил, газу, токсичні речовини, які утворюються в процесі виробничих операцій. Це потребує більш потужних і складних систем, здатних працювати в екстремальних умовах, з високою ефективністю очищення повітря та інтенсивним повітрообміном.

Типи вентиляційних систем

Громадські будівлі. У таких будівлях часто застосовано природні вентиляційні системи, змішаного типу або механічні системи вентиляції з регульованим повітрообміном. Для малих і середніх об'єктів використовують системи з природною вентиляцією, які зазвичай простіші та дешевші у встановленні. Для великих об'єктів (наприклад торгових центрів, офісних будівель) застосовують механічні системи, що можуть автоматично регулювати рівень вентиляції залежно від кількості людей чи температури.

Промислові будівлі. Вентиляція промислових об'єктів, зокрема для таких виробництв, як хімічні, металургійні, харчові тощо, зазвичай є більш складною і потужною. Тут використовують системи механічної вентиляції, здатні забезпечити високу продуктивність для видалення забруднень, а також системи очищення повітря (фільтрація, осадження пилу, хімічне очищення) для зниження шкідливих викидів у повітря. Часто для таких будівель також розробляють спеціалізовані системи рекуперації тепла, щоб знизити витрати на опалення або охолодження.

Енергоспоживання та енергоефективність

Громадські будівлі. Вентиляційні системи для громадських об'єктів зазвичай менш енергоємні, оскільки їхні вимоги щодо потоку повітря є менш інтенсивними. Водночас для сучасних технологій потрібне застосування енергоефективних рішень, таких як рекуперація тепла, використання вентиляційних установок із регулюванням витрати повітря (VAV-системи), щоб зменшити енергоспоживання.

Промислові будівлі. Вентиляційні системи промислових об'єктів значно складніші в енергетичному плані, оскільки вони потребують значно більших обсягів повітрообміну для підтримання здорових умов праці та забезпечення ефективної роботи очищення. Висока енергоємність таких систем часто є проблемою, тому

впровадження енергоефективних технологій, таких як рекуперація тепла та автоматизоване управління, є важливим аспектом.

Системи очищення повітря

Громадські будівлі. Вентиляційні системи в громадських будівлях часто не потребують складних технологій очищення повітря. Однак у деяких випадках для поліпшення якості повітря використовують фільтри, які очищають його від пилу, алергенів, запахів та інших забруднень.

Промислові будівлі. Для вентиляційних систем промислових будівель потрібні високоєфективні фільтраційні системи для видалення токсичних газів, пилу, а також хімічних і біологічних забруднень. Часто використовують системи, що включають кілька етапів очищення, зокрема механічні, електростатичні, адсорбційні фільтри та фільтраційні установки з хімічними реагентами.

Складність проектування та обслуговування

Громадські будівлі. Проектування вентиляційних систем для громадських будівель, хоча і потребує врахування певних нормативів і вимог до комфортності, є менш складним через меншу потужність і менші вимоги до очищення повітря. Для обслуговування таких систем зазвичай потрібні менші витрати на технічне обслуговування та ремонт.

Промислові будівлі. Вентиляційні системи промислових будівель значно складніші, оскільки вони мають не тільки урахувати комфорт, але й забезпечувати ефективне очищення від забруднень, зниження впливу токсичних речовин, а також високу потужність і безперебійну роботу. Для цього потрібні спеціалізовані технічні знання та постійний моніторинг роботи системи, що збільшує складність її обслуговування та витрати на ремонт.

Модернізація систем вентиляції є важливою складовою забезпечення енергоефективності, екологічної безпеки та підвищення комфорту в громадських і

промислових будівлях. З розвитком новітніх технологій і збільшенням вимог до енергозбереження і якості повітря виникає необхідність адаптації наявних вентиляційних систем до сучасних умов. Шляхи та засоби модернізації можна поділити на кілька основних напрямів.

Впровадження енергоефективних технологій

Рекуперація тепла (рекуператори). Вентиляційні системи, оснащені рекуператорами, дають змогу значно знизити витрати енергії на опалення або охолодження будівлі. Рекуперація тепла полягає в передаванні теплової енергії від відпрацьованого повітря до припливного, що зменшує навантаження на систему опалення в зимовий період і кондиціонування влітку. Цей підхід є важливим для досягнення енергоефективності у великих громадських будівлях (торгові центри, офісні приміщення) і промислових об'єктах.

Інтелектуальні системи управління (АСКУ). Сучасні автоматизовані системи управління вентиляцією дають можливість точно регулювати витрати повітря залежно від кількості людей у приміщенні, температури, вологості та рівня забруднення. Це дає змогу значно знизити енергоспоживання, адже вентиляція буде працювати тільки тоді, коли це необхідно, і з оптимальними параметрами. Крім того, автоматизація допомагає забезпечити стабільну роботу системи за мінімальних витрат на обслуговування.

Модернізація фільтраційних систем

Використання вискоелективних фільтрів. Одним з основних напрямів модернізації є поліпшення систем очищення повітря. В умовах промислових об'єктів необхідно застосовувати вискоелективні фільтри для видалення пилу, токсичних газів та інших шкідливих домішок. Для цього використовують фільтри високої фільтрації, такі як HEPA-фільтри, електростатичні фільтри або хімічні абсорбери. Вони дають змогу знизити рівень

забруднення повітря і забезпечити безпечні умови праці для людей.

Механічне очищення повітря. Для видалення великих частинок пилу, а також хімічних забруднень використовують промислові фільтраційні системи з багатоступінчастою фільтрацією. Це дає змогу підвищити ефективність очищення та запобігти потраплянню шкідливих частинок у робочі зони.

Оптимізація повітрообміну та вентиляційних каналів

Заміна вентиляційних установок на більш продуктивні та енергоефективні. Заміна старих вентиляційних установок на нові, більш енергоефективні моделі, є одним із простих, але дієвих шляхів модернізації. Сучасні вентиляційні агрегати оснащені енергозберігаючими двигунами, інверторними приводами, що дає змогу зменшити споживану потужність з підтриманням необхідної ефективності. Такі системи можуть автоматично регулювати швидкість вентилятора залежно від навантаження, тим самим оптимізуючи витрати енергії.

Перевірка та очищення вентиляційних каналів. Систему вентиляції потрібно регулярно очищати і технічно обслуговувати, що особливо важливо для старих будівель. У процесі модернізації можуть бути передбачені заходи з перевірки та очищення вентиляційних каналів від накопичених забруднень і пилу, що може призвести до зниження ефективності вентиляції.

Розширення або перепроєктування вентиляційних каналів. У деяких випадках для досягнення більш рівномірного повітрообміну та покращення ефективності вентиляції може знадобитися перепроєктування або розширення вентиляційних каналів, особливо у великих будівлях із великою кількістю приміщень чи виробничих зон.

Впровадження систем кондиціонування та вентиляції з рекуперацією

Механічна вентиляція з рекуперацією. Модернізація вентиляційних систем у

громадських і промислових будівлях за допомогою механічних систем вентиляції з рекуперацією тепла дає змогу не лише підвищити ефективність повітрообміну, але й знизити витрати енергії на опалення та охолодження, що дає змогу одночасно підтримувати належний рівень вентиляції та енергоефективність, що є особливо важливим для великих комерційних і промислових приміщень.

Інтеграція кондиціонування та вентиляції. У сучасних громадських будівлях доцільно інтегрувати системи кондиціонування та вентиляції для досягнення оптимальних умов мікроклімату. Комбінація вентиляції з охолодженням дає змогу одночасно

забезпечувати достатній рівень повітрообміну та підтримувати комфортну температуру в приміщеннях.

Застосування інтелектуальних систем моніторингу та управління

Моніторинг якості повітря в реальному часі. Впровадження сучасних систем моніторингу якості повітря дає змогу здійснювати постійний контроль за рівнем забруднення, температурою, вологістю та іншими параметрами.

Узагальнені дані та характеристики наведені в таблиці.

На рисунку наведено графік порівняння вентиляційних систем у громадських і промислових будівлях.

Таблиця

Порівняння характеристик вентиляційних систем у громадських і промислових будівлях

Параметр	Громадські будівлі (офіси, торгові центри)	Промислові будівлі (фабрики, заводи)
Тип вентиляційної системи	Механічна, природна, змішана	Механічна, з високим рівнем фільтрації
Система очищення повітря	Фільтрація від пилу, бактерій, запахів	Мультирівнева фільтрація (HEPA, електростатичні)
Продуктивність системи	5000-20 000 м ³ /год	20 000-100 000 м ³ /год
Енергоспоживання	10-50 % загальних витрат енергії	30-70 % загальних витрат енергії
Рекуперація тепла	Використано в деяких системах	Широко використана для зниження енергоспоживання
Автоматизація управління	Автоматичне регулювання витрат повітря, температури	Система автоматизації з інтелектуальним управлінням
Основні технології очищення	Механічні фільтри, фільтри від запахів, вентиляція з очищенням	Адсорбційні фільтри, хімічне очищення, електростатичні фільтри
Термін служби системи	10-15 років	15-25 років
Кількість навченого персоналу	Одна-дві особи на об'єкт	Три-п'ять осіб на великий об'єкт
Вартість модернізації	Відносно низька залежно від типу установки	Висока через спеціалізовані технології

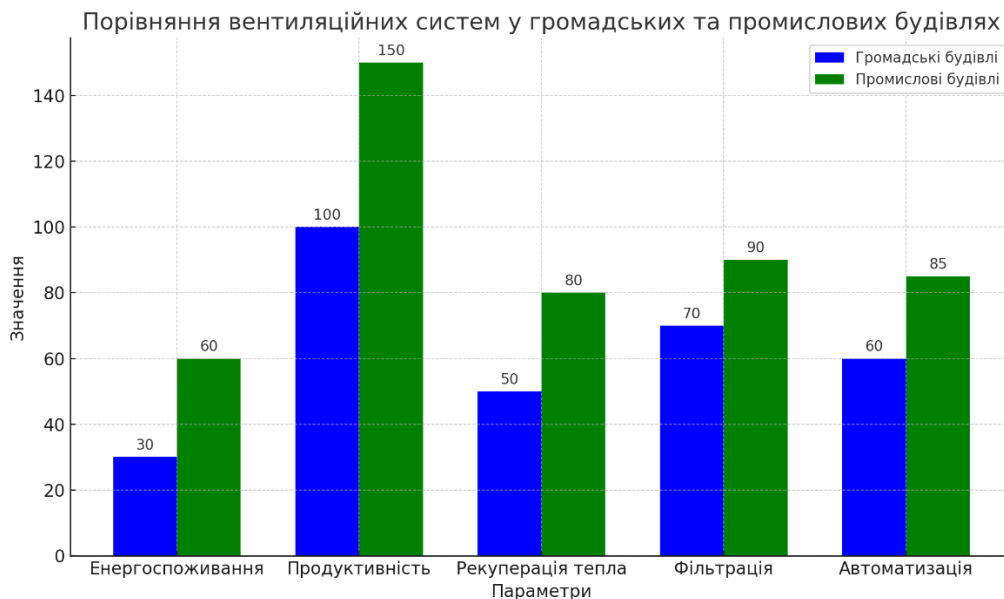


Рис. Графік порівняння вентиляційних систем у громадських і промислових будівлях

Аналіз сучасних вентиляційних систем у цивільному та промисловому будівництві показав, що основними вимогами до їх проектування є енергоефективність, надійність і дотримання екологічних стандартів. Вентиляція має важливе значення для забезпечення комфортних умов перебування людей, а також підтримання оптимальних технологічних параметрів у виробничих приміщеннях.

Основні проблеми, що виникають у системах вентиляції, включають неефективне використання енергоресурсів, низьку надійність старих установок, а також застаріле обладнання. Ці фактори часто спричиняють високі експлуатаційні витрати і знижують якість повітря в приміщеннях.

Висновки. Дослідження показують, що сучасні вентиляційні системи, як у цивільному, так і промисловому будівництві, відіграють головну роль у забезпеченні комфортних і безпечних умов для людей, а також у підтриманні ефективності виробничих процесів. Вивчення літератури свідчить про те, що більшість сучасних систем мають значні

недоліки, зокрема в частині енергоефективності та надійності. Система вентиляції є важливою складовою інфраструктури будь-якого будівництва, оскільки від її ефективності залежить не тільки комфорт перебування людей, але й безпека, особливо у промислових приміщеннях, де недостатня вентиляція може призвести до техногенних катастроф або загрози здоров'ю працівників.

Основними проблемами, виявленими під час дослідження, є застаріле обладнання, високе споживання енергії та низька ефективність наявних вентиляційних систем. Це спричиняє як додаткові витрати на експлуатацію, так і підвищену загрозу для навколишнього середовища через нераціональне використання ресурсів. Модернізація системи вентиляції є основним етапом у вирішенні цих проблем. Поглиблене впровадження інноваційних технологій, таких як системи автоматизованого управління, використання енергоефективних агрегатів і рекуперация тепла, може значно знизити витрати енергії та підвищити ефективність роботи системи.

Зважаючи на вищезазначене, запропонованими шляхами вирішення проблеми є оновлення застарілих вентиляційних систем, інвестування в сучасні технології, а також підвищення кваліфікації фахівців для ефективного управління та обслуговування нових систем. Крім того, важливо сприяти розвитку нормативно-правової бази, що стимулюватиме модернізацію

вентиляційних систем у межах державних програм, орієнтованих на забезпечення енергоефективності та зниження негативного впливу на екологічну ситуацію. У результаті впровадження цих змін допоможе значно підвищити якість повітря, знизити енергетичні витрати і покращити загальний рівень безпеки в будівництві, що стане основою для сталого розвитку галузі.

Список використаних джерел

1. Lintao Fan and all. Temperature field analysis in tunnel construction ventilation with emphasis on duct leakage and thermal conductivity. *Case Studies in Thermal Engineering*. September 2024. Vol. 61. 105102. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2024.105102>.
2. Ming-Rui Luo and all. Effect of tunnel ventilation on surrounding rock temperature field and heat regulating circle during construction phase. *Tunnelling and Underground Space Technology*. August 2024. Vol. 150. 105835. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2024.105835>.
3. Ping Guo and all. Coupled diffusion law of windflow-dust, respiratory zone exposure levels and simulated dust reduction in industrial building re-construction. *Science of The Total Environment*. 10 December 2024. Vol. 955. 177240.
4. Ming Lu and all. A new approach in calculation of heat release during high geothermal tunnels construction considering ventilation time effect. *International Journal of Thermal Sciences*. December 2023. Vol. 194. 108589.
5. Chen Ren and all. Construction of linear temperature model using non-dimensional heat exchange ratio: Towards fast prediction of indoor temperature and heating, ventilation and air conditioning systems control. *Energy and Buildings*. 15 November 2021. Vol. 251. 111351. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111351>.
6. Rong Liu and all. Tunnel construction ventilation frequency-control based on radial basis function neural network. *Automation in Construction*. October 2020. Vol. 118. 103293. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103293>.
7. Mukesh Kumar Dubey and all. Need for rating system for assessing sustainability of built environment during construction stage. *Total Environment Research Themes*. September 2023. Vol. 7. 100061. <https://doi.org/10.1016/j.totert.2023.100061>.
8. Burda Yu., Pivnenko Yu., Cherednik A., Chaika Yu., Tkachenko R. Analysis of the cleaning efficiency of gas emissions from the venturi scrubber. *V Міжнар. наук.-практ. конф. «CURRENT CHALLENGES OF SCIENCE AND EDUCATION»*, 15-17.01.2024. P. 140–147.
9. Pouya Baradaran-Noveiri and all. Parametric-based design optimization of air distribution system in panelized construction. *Journal of Building Engineering*. 1 July 2022. Vol. 51. 104254.
10. Ping Guo and all. Dynamic health risk assessment model for construction dust hazards in the reuse of industrial buildings. *Building and Environment*. 15 February 2022. Vol. 210, 108736. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108736>.

Чайка Юрій Іванович, кандидат технічних наук, в. о. завідувача кафедри теплогазопостачання і вентиляції, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова.
E-mail: yurii.chaika@kname.edu.ua. ORCID ID 0000-0003-1021-4662.

Бурда Юрій Олександрович, кандидат технічних наук, асистент кафедри теплогазопостачання і вентиляції, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова.

E-mail: science.yurii.burda@gmail.com. ORCID ID 0000-0003-3470-1334.

Півненко Юрій Олександрович, кандидат технічних наук, асистент кафедри теплогазопостачання і вентиляції, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова.

E-mail: yurii.pivnenko@kname.edu.ua. ORCID ID: 0000-0002-6675-2649.

Ткаченко Роман Борисович, кандидат технічних наук, доцент кафедри теплогазопостачання і вентиляції, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова. ORCID ID 0000-0003-3899-1826. E-mail: roman.tkachenko@kname.edu.ua.

Редько Ігор Олександрович, доктор технічних наук, професор кафедри ТТДЕМ, Український державний університет залізничного транспорту. ORCID ID orcid.org/ 0009-0005-1556-0830.

E-mail: ihorredko1972@gmail.com.

Yurii Chaika Ph.D., Head of the Department of Heating, Gas Supply, and Ventilation, Kharkiv National University of Municipal Economy named after O. M. Beketov. E-mail: yurii.chaika@kname.edu.ua. ORCID ID 0000-0003-1021-4662.

Yurii Burda, Ph.D., Docent at the Department of Heating, Gas Supply, and Ventilation, Kharkiv National University of Municipal Economy named after O. M. Beketov. E-mail: Yurii.Burda@kname.edu.ua. ORCID ID: 0000-0003-3470-1334.

Yurii Pivnenko, Ph.D., Assistant at the Department of Heating, Gas Supply, and Ventilation, Kharkiv National University of Municipal Economy named after O. M. Beketov. E-mail: yurii.pivnenko@kname.edu.ua. ORCID ID: 0000-0002-6675-2649.

Roman Tkachenko, Ph.D., Docent at the Department of Heating, Gas Supply, and Ventilation, Kharkiv National University of Municipal Economy named after O. M. Beketov. E-mail: roman.tkachenko@kname.edu.ua. ORCID ID: 0009-0005-1556-0830.

Ihor Redko, D.Sc. (Doctor of Technical Sciences), Professor at the Department of Transport Technology, Design and Exploitation of Machines, Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: ihorredko1972@gmail.com. ORCID ID: 0009-0005-1556-0830.

Статтю прийнято 14.03.2025 р.