

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, старшого наукового співробітника, головного наукового співробітника відділу теплофізичних основ енергоощадних технологій Інституту технічної теплофізики Національної академії наук України Давиденка Бориса Вікторовича на дисертаційну роботу Макаренко Любові Ігорівни «Енергоефективне вентилявання повітря з комбінованим очищенням від фізичних, хімічних та біологічних забруднювачів», представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 19 «Архітектура та будівництво», за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

В даний дисертаційній роботі представлено результати розрахункових і експериментальних досліджень розробленого очищувача повітря, призначеного для забезпечення необхідної якості повітря в приміщенні та належних санітарних норм в приміщенні за умов ефективного споживання енергії для підігріву цього повітря.

1.Актуальність теми дисертаційної роботи.

У зв'язку з постійним погіршенням якості атмосферного повітря, пов'язаного з військовими діями, шкідливими викидами від промислових підприємств та транспорту, а також через кліматичні зміни, виникає нагальна потреба в розробці ефективних систем і пристроїв для його очищення. Забруднене повітря негативно впливає на здоров'я, працездатність та добробут населення. Через постійне зростання цін на енергоносії розробка та впровадження систем, що дозволяють ефективно очищати повітря без додаткових енерговитрат на його підігрів, є дуже важливою. Вирішення проблеми по створенню ефективних та енергоощадних пристроїв для очищення повітря повинно ґрунтуватися на результатах аналітичних та експериментальних досліджень процесів фільтрації та підігріву повітря в такому пристрої, що забезпечить одержання раціональних та ефективних конструкційних рішень. В даній роботі пропонується інноваційний підхід до створення комфортних та безпечних умов в приміщенні через поєднання в одному пристрої функцій фільтрації та підігріву повітря. Виходячи з цього, тему даної дисертаційної роботи, мета якої полягає в дослідженні процесів очищення повітря від забруднювачів з використанням «фільтр-теплообмінника» та теплообмінних процесів в цих пристроях, слід вважати актуальною. Актуальність теми даної дисертаційної роботи підтверджується також її зв'язком з тематикою науково-дослідної роботи кафедри теплотехніки Київського національного університету будівництва і архітектури.

2. Структура і обсяг дисертації.

Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів основної частини, загальних висновків, списку використаних літературних джерел із 273 найменувань, та додатків. Текст наведений на 205 сторінках комп'ютерного набору, містить 30 рисунків, 33 таблиці.

3. Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота Макаренко Л. І. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія». Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям дослідження процесів фільтрації та підігріву повітря в «фільтр-теплообміннику».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Макаренко Л. І. є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело. Тобто, фактів порушення академічної доброчесності у дисертаційній роботі не виявлено.

Коротка характеристика змісту роботи.

У вступі дисертації обґрунтовано актуальність її теми, сформульовано сутність науково-прикладної проблеми, мету, завдання, предмет і об'єкт дослідження. Розглядаються методи дослідження. Визначено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів. Визначено також особистий внесок здобувача. Наведено дані про публікації за темою дисертації, структуру та обсяг роботи. Визначено її зв'язок з науковими програмами, планами і темами.

В першому розділі представлено аналіз літературних джерел, в яких розглядаються способи забезпечення необхідних санітарних умов в приміщеннях, де перебувають люди. Описані основні забруднювачі атмосферного повітря, до яких відносяться тверді частинки, газоподібні речовини та біологічні об'єкти. Розглядаються негативні наслідки їх впливу на здоров'я людей та на природне середовище. Наводяться заходи, що знижують забруднення повітря. Описано існуючі методи і способи очищення повітря від забруднень та системи фільтрації, що для цього призначені. Проаналізовано способи підвищення ефективності їх роботи. Зазначається, що достатньо дієвим є спосіб очищення повітря за допомогою фільтрів різної природи при застосуванні витяжної вентиляції.

Розглянуто принципову конструкцію очищувача повітря з вбудованим фільтром. Зазначається, що найкращі результати по вловлюванню з повітря частинок різних фракцій показали рециркуляційні агрегати з НЕРА - фільтрами. Наведено класифікацію фільтрів для систем очищення повітря та принципи їх дії. Розглядаються основні параметри роботи фільтрів волокнистого типу та параметри, за якими підбираються очищувачі повітря. Проаналізовано роботу портативних очищувачів повітря в приміщенні.

Розглядаються проблеми енергозбереження в системах очищення повітря та ефективність різних способів очищення. Аналізується вплив вологості та швидкості повітря на процес його очищення в фільтрах.

Зазначається важливість вибору необхідної кратності вентиляції. Також розглядається вплив очищувача повітря на тепловий комфорт в приміщенні. У висновках до розділу сформульовано рекомендації щодо оптимізації процесу очищення повітря в приміщеннях.

В другому розділі запропоновано математичну модель процесу перенесення теплоти в «фільтр-теплообміннику». Ця модель включає рівняння теплового балансу для холодного та гарячого теплоносіїв і умови теплопередачі через стінки трубчатих каналів, через які протікає вентиляційне повітря, що надходить з довкілля. З розв'язання цієї системи рівнянь визначаються температури холодного і гарячого теплоносіїв на виході з теплообмінника. За результатами аналітичних досліджень визначається обсяг рециркуляційного повітря, який забезпечує підігрів зовнішнього (свіжого) повітря до значень, що відповідають санітарним нормам для приміщень. Розраховується перепад температур між гарячим і холодним теплоносієм і швидкості руху теплоносіїв. Визначаються коефіцієнти тепловіддачі на зовнішній і внутрішній поверхнях каналів, а також необхідна загальна площа теплообмінної поверхні. Ці результати є основою для розробки конструкції «фільтр-теплообмінника», який вбудованою в повітроочисник.

В третьому розділі наведено результати експериментальних досліджень процесів, що протікають в «фільтр-теплообміннику». Розглядається схема експериментального стенду і схема розміщення обладнання при проведенні дослідів. Наводиться також методи проведення експериментальних досліджень і методи обробки їх результатів. За результатами досліджень визначається вплив відносної вологості повітря на процес його очищення в «фільтр – теплообміннику». Складено рівняння регресії, за яким можна прогнозувати час очищення повітря. Це рівняння враховує продуктивність очищувача повітря, початковий рівень його забруднення, а також вплив відносної вологості повітря на термін очищення. Воно може використовуватися для оптимізації процесів очищення повітря та підвищення їх ефективності.

Наведено результати експериментального визначення впливу природного осадження частинок на ефективність роботи «фільтр-теплообмінника». Визначені оптимальні умови використання фільтрувальних елементів. Одержано дані щодо необхідної кратності повітрообміну, яка забезпечує ефективне очищення повітря. Визначено залежність очисної потужності цього пристрою для видалення різних видів забруднення від ряду визначальних параметрів внутрішнього повітряного середовища. Показано, що природне осадження частинок не забезпечує якісну очистку повітря і що для цього необхідно застосовувати його механічну фільтрацію.

В цьому розділі наведено також дані по експериментальному визначенню коефіцієнта теплопередачі у «фільтр-теплообміннику». Складено рівняння регресії для коефіцієнту тепловіддачі методом планування повного факторного фізичного експерименту. Визначено рівняння подібності для числа Нуссельта, що відповідає конкретним умовам для даного пристрою.

Четвертий розділ присвячено техніко-економічному обґрунтуванню системи «фільтр-теплообмінника» та її елементів. Наведено методику оцінки економічної ефективності використання «фільтр-теплообмінника». За цією методикою техніко-економічне обґрунтування проектів з енергозбереження передбачає два етапи. На початковому етапі аналізуються технічні та технологічні аспекти проекту, а на заключному етапі детально досліджуються всі компоненти цього проекту.

Наявність вентиляції безпосередньо впливає на енергетичну ефективність будівлі. Тому важливим є аналіз заходів з енергоощадження при використанні «фільтр-теплообмінника». Особливості впливу вентиляції на енергетичну ефективність будівлі полягає в тому, що покращення теплоізоляційних характеристик будівель призводить до зростання енергоспоживання на вентиляцію внаслідок підвищення герметичності огорожувальних конструкцій та посилення вимог до якості повітря внутрішнього середовища.

Визначається економічна доцільність застосування «фільтр-теплообмінника» в порівнянні з іншими аналогічними вентиляційними системами. Порівнюються капітальні та експлуатаційні витрати для різних варіантів обладнання за умов забезпечення ними однакового рівня якості повітря, що рекомендується ВООЗ. З результатів аналізу економічної ефективності «фільтр-теплообмінника» випливає, що цей очищувач повітря має нижчі капітальні та експлуатаційні витрати порівняно з іншими подібними пристроями. При цьому він може заощадити суттєву кількість теплової енергії, що використовується для нагріву зовнішнього повітря в зимовий період року.

З цього робиться висновок, що використання даних очищувачів повітря для приміщень побутового призначення є доцільним з економічної точки зору. Доведена також їх ефективність при очищенні повітря від фізичних, хімічних та біологічних забруднювачів.

У **висновках** наводиться перелік основних наукових і практичних результатів, одержаних у дисертаційній роботі.

4. Наукова новизна отриманих результатів

- науково обґрунтовано застосування «фільтр-теплообмінника» в системі очищення повітря від фізичних, хімічних та біологічних забруднювачів з одночасним нагрівом вентиляційного повітря;

- вперше для «фільтр-теплообмінника» сформульовано теплофізичну модель процесу перенесення теплоти конвекцією від потоку теплого внутрішнього повітря до зовнішньої поверхні пучка циліндричних трубок, в середині яких рухається холодне свіже повітря;

- вперше методом повного факторного експерименту отримано рівняння для визначення часу очищення повітря від забруднювачів в «фільтр-теплообміннику» при зниженні концентрації забруднювачів з 200 до 20 мкг/м³, в залежності від витрат повітря (від 300 до 800 м³/год) та від відносної вологості повітря (від 35 до 55%);

- отримані нові дані стосовно характеристик теплообміну до зовнішньої поверхні коридорного пучка труб, в середині яких рухається холодне свіже повітря. Ці дані відносяться до швидкості повітряного потоку перед коридорним пучком, що змінюється в діапазоні 1...3,5 м/с, та до чисел Рейнольдса, що змінюється в діапазоні $700 < Re < 3500$;

- за результатами експериментальних досліджень одержано нову критеріальну залежність числа Нуссельта від Рейнольдса для визначення коефіцієнта тепловіддачі від потоку теплого внутрішнього повітря до зовнішньої поверхні коридорного пучка труб, в яких рухається холодне повітря, при поперечному обтіканні цього пучка.

- отримано нові дані щодо аеродинамічного опору запропонованої конструкції «фільтр-теплообмінника» при зміні витрат повітря від 300 до 800 м³/год.

- виявлено вплив вологості повітря в приміщенні на ефективність процесу очищення в «фільтр-теплообміннику».

5. Практичне значення отриманих результатів.

- розроблено конструкцію «фільтр-теплообмінник», який може застосовуватися для очищення повітря від фізичних, хімічних та біологічних забруднювачів з одночасним підігрівом зовнішнього (свіжого) повітря за рахунок теплоти внутрішнього (рециркуляційного) повітря;

- теоретично доведена та експериментально підтверджена енергетична ефективність теплообмінної частини очисника повітря, призначеного також для нагріву зовнішнього повітря;

- визначений в роботі експериментальним шляхом коефіцієнт тепловіддачі від потоку нагрітого теплоносія до коридорного пучка труб, в яких тече холодне повітря, може застосовуватися при розробці нових конструкцій «фільтр - теплообмінників»;

- методика експериментального дослідження повітрообміну при різних рівнях забруднення може бути використана для визначення необхідної кратності повітрообміну для приміщень різного призначення;

- методика експериментального визначення тепловіддачі в теплообміннику «повітря-повітря» може застосовуватися для визначення шляхів інтенсифікації процесу теплообміну, зменшення габаритів очищувача та збільшення ефективності очищення;

- з результатів порівняння техніко-економічних показників даного повітроочисника з інженерними системами, що виконують такі ж функції, випливає, що він забезпечує меншу вартість і значно менше споживання енергії на нагрів зовнішнього повітря;

- побудована експериментальна модель приладу «фільтр-теплообмінник», що може забезпечити ефективне очищення повітря в кімнаті площею до 150 м² з ефективністю очищення від забруднювачів РМ2.5 мінімум 95% з одночасним процесом теплопередачі від гарячого теплоносія до холодного зовнішнього повітря;

- удосконалено та набули подальшого розвитку рекомендації ДБН В.2.2-10:2022 «Заклади охорони здоров'я» щодо кратності повітрообміну для отримання необхідної якості повітря при різних рівнях початкового забруднення повітря для побутових приміщень площею до 150 м²;

- визначено необхідні обсяги холодного повітря для зменшення концентрації CO₂ в приміщенні при забезпеченні умов його нагріву від гарячого теплоносія без додаткового надходження теплоти;

- визначено частку природного осадження частинок забруднювача в «фільтр-теплообміннику»

6. Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів.

Достовірність отриманих результатів та висновків підтверджується коректністю постановки задач та використанням сучасних методів проведення досліджень. Методологічна база, яка лежить в основі досліджень, ґрунтується на застосуванні методів теоретичної теплотехніки, математики та моделювання технічних систем. Достовірність результатів підтверджується повним факторним експериментом, сучасними методами його плануванням, а також статистичним аналізом, який дозволив розробити достовірну математичну модель. Визначення ефективності очищувачів повітря разом із підтвердженням можливості підігріву повітря без додаткових енерговитрат свідчить про об'єктивність та наукову достовірність усіх представлених результатів.

7. Повнота викладення наукових положень та висновків.

Результати дисертаційних досліджень опубліковано у 22 друкованих роботах, серед яких одна стаття в науковому журналі, що індексується наукометричною базою SCOPUS з квантилем Q4, три статті в закордонних виданнях, 4 статі у наукових фахових виданнях України категорії «Б»; 14 тез наукових доповідей в збірниках матеріалів міжнародних конференцій, які відображають наукові результати дисертації.

Результати досліджень автора пройшли апробацію на ряді Міжнародних науково-практичних конференціях.

8. Оцінка мови та стилю дисертації.

Дисертаційна робота написана коректною українською мовою із застосуванням загальноприйнятої наукової термінології. Стиль подання теоретичних узагальнень, результатів експериментів, формулювання висновків і рекомендацій відзначається послідовністю та доступністю для розуміння.

9. Оформлення дисертації

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

10. Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. У другому розділі наведено основні рівняння, за якими виконується розрахунок теплообмінних характеристик «фільтр-теплообмінника». Бажано було б навести алгоритм та послідовність виконання розрахунків за цією моделлю для визначення температури теплоносіїв після їх виходу з теплообмінника.

2. Доцільно було б проаналізувати вплив конструкційних параметрів «фільтр -теплообмінника», таких як його габарити, діаметр трубок, їх кількість та відстані між ними на ефективність теплопередачі у системи, що розглядається, а також на його аеродинамічний опір. Адже відомо, що збільшення кількості трубок в теплообміннику призводить як до зростання площі поверхні теплообміну, так і до збільшення його аеродинамічного опору.

3. Недостатньо повно проаналізовано вплив режимних параметрів роботи теплообмінника, таких як швидкість потоку повітря всередині трубок «фільтр-теплообмінника» та швидкість повітряної течії теплоносія, що омиває трубки, на коефіцієнт теплопередачі від гарячого теплоносія до холодного та на загальну ефективність його роботи.

4. В розрахунках температурного режиму теплообмінника приймається, що теплові втрати через його стінки складають 4% від загальної кількості теплоти, що передається в теплообміннику від гарячого теплоносія до холодного. Але це значення теплових втрат повинно бути обґрунтовано.

5. Результати розрахунку температурних характеристик «фільтр-теплообмінника» доцільно узгоджувати з розрахунком теплового стану приміщення, де він встановлюється, тому що через певний час температура в приміщенні за рахунок дії теплообмінника може змінюватися.

6. В тексті дисертаційної роботи зустрічаються невдалі висловлювання, такі, наприклад, як "температурний тиск між теплоносіями", замість більш прийнятних "різниця між температурами" або "перепад температур".

Зроблені зауваження не є принциповими і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Макаренко Любові Ігорівни на тему «Енергоефективне вентилявання повітря з комбінованим очищенням від фізичних, хімічних та біологічних забруднювачів» є самостійною завершеною науковою роботою, яка містить нові науково обґрунтовані результати. Зміст дисертації повністю відповідає вимогам освітньо - наукової програми підготовки здобувачів третього освітньо - наукового рівня вищої освіти за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» галузі знань 19 «Архітектура та будівництво». Дисертація містить наукові положення, нові науково обґрунтовані результати проведених досліджень, які мають істотне значення для галузі знань 19 – Архітектура та будівництво. Робота відповідає вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, які встановлені Міністерством освіти і науки України (наказ МОН України від 12.01.2017 № 40 зі змінами від 31.05.2019 № 759), а також пунктами 5–9

«Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 № 44. На підставі викладеного вважаю, що Макаренко Любов Ігорівна заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» галузі знань 19 «Архітектура та будівництво».

Офіційний опонент

доктор технічних наук,
старший науковий співробітник,
головний науковий співробітник
Інституту технічної теплофізики
Національної академії наук України



Борис ДАВИДЕНКО



Підпис гр. *Б. Давиденко*
ЗАВІРЯЮ
08 2025 р.
Давиденко