

РЕЦЕНЗІЯ

офіційної рецензентки

кандидатки технічних наук, доцентки кафедри теплоенергетики

Криворізького національного університету

ЯЛОВОЇ АЛЬОНИ МИКОЛАЇВНИ

на дисертаційну роботу Савіна Валерія Валерійовича

**«ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ПІДТРИМАННЯ ПАРАМЕТРІВ
МІКРОКЛІМАТУ В ЕНЕРГООЩАДНИХ БУДИНКАХ З ПАСИВНОЮ
ВЕНТИЛЯЦІЄЮ»,**

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії

в галузі знань 19 «Архітектура та будівництво»,

за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

1. Актуальність обраної теми.

У зв'язку з посиленням вимог до енергоефективності будівель та масовою термомодернізацією житлового фонду, питання забезпечення нормативного повітрообміну без зростання енергоспоживання набуває особливої актуальності. Герметизація огорожувальних конструкцій, заміна віконних блоків і утеплення фасадів істотно знижують рівень природної інфільтрації, яка раніше частково компенсувала відсутність припливної вентиляції. Це призводить до погіршення якості повітря у приміщеннях, підвищення вологості, появи грибків, зростання концентрації вуглекислого газу та загального дискомфорту для мешканців.

Традиційні механічні вентиляційні системи, які здатні забезпечити контрольований повітрообмін, потребують значних витрат електроенергії, регулярного обслуговування та є економічно недоцільними для будинків малого та середнього сегменту. Тому виникає потреба у використанні пасивних технологій, що працюють за рахунок природних рушійних сил.

Одним із перспективних рішень є застосування вітровловлювачів як елементів припливної вентиляції. Такі пристрої дозволяють використовувати енергію вітрового потоку для організації повітрообміну без вентиляторів та

додаткових енергетичних витрат. Проте їхнє впровадження стримується низкою факторів: відсутністю стандартизованих методів інженерного розрахунку, недостатнім урахуванням кліматичних умов, геометрії повітропроводів, архітектурно-планувальних рішень будівель і гідродинамічних характеристик системи.

Попри потенціал впровадження, наявні дослідження залишаються несистемними, а практичне використання вітровловлювачів обмежене експериментальними або локальними рішеннями. Удосконалення конструкцій, визначення ефективних режимів роботи та розробка розрахункових методик для їх інтеграції у пасивні системи вентиляції є необхідною умовою для їх широкого застосування в енергоощадному будівництві та при модернізації існуючих будівель.

Таким чином, підвищення ефективності природного повітрообміну за рахунок впровадження вітровловлювачів у пасивні системи вентиляції є актуальним науковим завданням.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій.

Для розв'язання поставлених у роботі завдань застосовано комплексний підхід, який поєднує методи фізичного, математичного та комп'ютерного моделювання з експериментальними дослідженнями. Такий підхід забезпечив багаторівневу перевірку достовірності отриманих результатів і дозволив обґрунтувати наукові положення на основі взаємодоповнення теоретичних і практичних методів.

Методи чисельного моделювання були використані для визначення гідродинамічних характеристик вітровловлювача, включаючи розподіл швидкостей і тиску в повітряному потоці, а також вплив геометричних параметрів конструкції на ефективність роботи системи. Для побудови моделей застосовувалися інструменти обчислювальної гідродинаміки (CFD), а також принципи теорії подібності та розмірностей, що забезпечило фізичну адекватність отриманих залежностей.

Фізичне моделювання, що проводилося на спеціально створеній експериментальній установці, дозволило перевірити коректність теоретичних і чисельних результатів. Можливість у процесі експерименту варіювати кут і швидкість набігаючого повітряного потоку дало змогу встановити закономірності зміни витрати повітря, вловленого вітровловлювачем, у різних кліматичних умовах.

3. Наукова новизна одержаних результатів

Уперше:

- розроблено комп'ютерні моделі процесу повітровловлювання в широкому діапазоні швидкостей вітрового потоку, що дало можливість зробити оцінку гідродинамічних характеристик запропонованої конструкції вітровловлювача;

- створено комп'ютерну модель системи пасивної вентиляції із застосуванням вітровловлювача, що дало змогу провести імітаційне моделювання організації повітрообміну та стратифікації параметрів мікроклімату в приміщенні енергоощадного будинку для різних кліматичних умов;

- виконано оцінку впливу вітрового напору із врахуванням його сезонності для міста Кривий Ріг на продуктивність повітрозабору вітровловлювачем. Встановлено, що коефіцієнт корисної дії вітровловлювача знаходиться в межах від 86,1 до 94,4%.

Удосконалено:

- узагальнену методику інженерного розрахунку пасивних систем вентиляції з вітровловлювачем на основі фізичного та комп'ютерного моделювання, що зробило можливим урахувати реальні умови експлуатації при визначенні необхідного повітрообміну в приміщеннях.

Подальшого розвитку набули:

- підходи до комплексної оцінки ефективності роботи пасивних систем вентиляції енергоощадних будинків із застосуванням вітровловлювачів.

Практичне значення отриманих результатів:

– розроблено методику інженерного розрахунку пасивної системи вентиляції із вітровловлювачем, яка дозволяє визначати гідродинамічні характеристики і розрахункову витрату повітряного потоку до приміщення залежно від геометричних та аеродинамічних характеристик системи, а також зменшити похибку при розрахунках і підвищити точність проєктних рішень;

– запропоновано узагальнений алгоритм визначення ефективності роботи пасивної системи вентиляції з вітровловлювачем, який відображає загальний порядок дій, необхідний для оцінювання її функціонування відповідно до встановлених мікрокліматичних вимог;

– отримані результати чисельного та фізичного моделювання можуть бути використані для створення програмного забезпечення або відповідних модулів у системах автоматизованого проєктування, що забезпечить автоматизацію інженерних розрахунків пасивних вентиляційних систем із використанням вітровловлювачів;

– проведене оцінювання економічної доцільності системи вентиляції з вітровловлювачем у реальних експлуатаційних умовах дає змогу використовувати ці рішення при реконструкції наявних будівель або при проєктуванні нових енергоощадних об'єктів без застосування механічної вентиляції;

– розроблено фізичну модель вітровловлювача для пасивної системи вентиляції енергоощадної будівлі, яка в результаті має і соціальні наслідки, оскільки сприяє покращенню санітарно-гігієнічних умов в приміщеннях, і термін окупності в межах 2 – 4 роки залежно від обсягу вентиляційного навантаження, кліматичних умов регіону, типу будівлі та рівня інтеграції з іншими енергоефективними рішеннями (наприклад, рекуперацією тепла або сонячними колекторами);

– отримані результати створюють науково-технічне підґрунтя для розробки нових конструкцій вітровловлювачів, здатних ефективно вловлювати повітряні потоки зменшуючи енерговитрати на вентиляцію.

4. Загальнонаціональне та світове значення роботи.

Результати дослідження сприяють реалізації державних стратегій України у сфері енергоефективності та зменшення споживання енергоресурсів у житловому секторі. Запропоновані технічні рішення можуть бути впроваджені під час термомодернізації будівель, реконструкції старого житлового фонду та проєктування нових об'єктів, що відповідає вимогам ДБН та Закону України «Про енергетичну ефективність будівель». Впровадження пасивних систем вентиляції з використанням вітровловлювачів сприяє підвищенню енергетичної незалежності країни, зменшенню викидів парникових газів і покращенню якості повітря в міському середовищі.

У світовому контексті результати дослідження узгоджуються з пріоритетами сталого розвитку, визначеними ООН, зокрема цілями №7 «Доступна та чиста енергія» і №11 «Сталий розвиток міст і громад». Концепція пасивної вентиляції з енергоощадними елементами є актуальною для країн із різними кліматичними умовами, адже дозволяє зменшити енергоспоживання та експлуатаційні витрати будівель.

Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення міжнародних стандартів і рекомендацій у сферах «зеленого» та «енергоощадного» будівництва, а також при проєктуванні об'єктів, сертифікованих за системами BREEAM, LEED, DGNB чи HЗЕБ. Розробка та локальне виробництво таких пристроїв мають практичне значення, оскільки сприяють розвитку науково-технічного потенціалу та створюють перспективи виходу на міжнародний ринок. Таким чином, тематика даного дослідження має як національну, так і глобальну значущість.

5. Повнота викладення здобувачем основних результатів у наукових публікаціях.

Результати дисертаційних досліджень опубліковано у 16 друкованих роботах, серед яких одна стаття в науковому журналі, що індексується наукометричною базою SCOPUS з квантилем Q2, одна стаття в закордонному виданні держави, яка входить до ОЕСР та ЄС, чотири статті в наукових фахових

виданнях категорії «Б» (у співавторстві з науковим керівником), 6 тез доповідей у матеріалах міжнародних конференцій та 4 патенти України на корисну модель, які додатково відображають наукові результати дисертації.

6. Відсутність академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації

Не встановлено фактів порушення академічної доброчесності у дисертаційній роботі, зокрема проявів плагіату, спотворення або вигадкування результатів дослідження.

7. Оцінка мови, стилю та оформлення дисертації.

Дисертаційне дослідження оформлено коректною українською мовою із застосуванням загальновизнаної наукової термінології. Стиль подання теоретичних узагальнень, результатів експериментів, формулювання висновків і рекомендацій відзначається послідовністю та доступністю для розуміння. Структура та оформлення роботи повністю відповідають вимогам, визначеним нормативними документами Міністерства освіти і науки України.

8. Аналіз основного змісту роботи.

У вступі дисертації висвітлено актуальність обраного наукового напрямку, сформульовано мету та завдання дослідження, розкрито наукову новизну та прикладну значущість результатів, а також конкретизовано індивідуальний внесок авторки. Наведено дані щодо апробації наукових положень та опублікованих матеріалів, які підтверджують практичну цінність проведеного дослідження.

У першому розділі дослідження проведено ґрунтовний аналіз сучасних енергоощадних технологій і систем забезпечення мікроклімату в будівлях, з акцентом на вентиляційні рішення. Розглянуто особливості роботи механічних систем вентиляції та їх енергетичні недоліки, а також переваги пасивних систем із використанням вітровловлювачів. Показано, що такі системи дають змогу зменшити енергоспоживання без погіршення якості повітрообміну. Окрему увагу приділено аналізу нормативної бази України у сфері енергоефективності та

можливостям її вдосконалення. На основі узагальнених результатів сформульовано завдання дослідження, спрямовані на підвищення ефективності природної вентиляції, оптимізацію конструкції вітровловлювачів та оцінку їхньої роботи у порівнянні з механічними системами.

У другому розділі автором подано результати теоретичних досліджень і комп'ютерного моделювання процесів, що відбуваються у пасивній системі вентиляції з вітровловлювачем. Проведений аналіз дозволив визначити основні аеродинамічні характеристики конструкції, дослідити розподіл швидкостей та тиску повітря, а також виявити закономірності формування вихрових зон залежно від кута набігання потоку. Встановлено, що жалюзійна система вітровловлювача виконує функцію зворотного клапана, зменшуючи втрати повітря та підвищуючи ефективність його подачі в приміщення. Отримані результати чисельного моделювання у середовищі SolidWorks Flow Simulation підтвердили, що запропонована конструкція забезпечує стабільну роботу при різних напрямках і швидкостях вітрового потоку. Автором обґрунтовано доцільність використання вітровловлювача в енергоощадних і термомодернізованих будівлях як елемента, що сприяє зниженню залежності від механічних систем вентиляції. Доведено, що система сприяє покращенню параметрів мікроклімату в приміщеннях за рахунок природного припливу повітря та ефективного видалення вологи й забруднень. На основі проведених теоретичних і комп'ютерних досліджень сформульовано завдання подальшої роботи, пов'язані з оптимізацією геометричних параметрів вітровловлювача, удосконаленням методів його розрахунку та розширенням аналізу ефективності при змінних кліматичних умовах.

У третьому розділі наведено результати експериментальних і аналітичних досліджень гідродинамічних характеристик вітровловлювача пасивної системи вентиляції. Визначено вплив швидкості та кута набігаючого потоку повітря на ефективність його роботи, встановлено закономірності зміни витрати повітря та коефіцієнта корисної дії. Отримано високий рівень збіжності результатів експериментів із даними комп'ютерного моделювання (коефіцієнт кореляції 0,97),

що підтверджує достовірність досліджень. Визначено коефіцієнт місцевого опору, рекомендований для подальших інженерних розрахунків.

У четвертому розділі представлено розроблену методику гідродинамічного розрахунку пасивної системи вентиляції з використанням вітровловлювача. Розділ містить дослідження ключових параметрів, що впливають на роботу системи, зокрема швидкості набігаючого повітряного потоку, аеродинамічного опору елементів системи та гідростатичного тиску. Встановлено, що запропонований покроковий алгоритм розрахунку дозволяє враховувати втрати тиску у вітровловлювачі, повітропроводах і місцевих опорах, а також розподіл швидкостей у вентиляційних каналах. Отримано універсальну залежність для прогнозування витрати вловленого повітря в залежності від швидкості та кута набігаючого потоку, що забезпечує точне планування ефективності роботи пасивної системи вентиляції.

У п'ятому розділі роботи проведено аналіз економічної ефективності використання вітровловлювачів у пасивних системах вентиляції для енергоощадних будинків. Автор встановив, що інтеграція цих пристроїв дозволяє значно знизити витрати на електроенергію, пов'язані з роботою механічних вентиляційних установок, що забезпечує реальну фінансову економію, особливо за умов зростання тарифів. Виявлено, що середній термін окупності встановлення вітровловлювачів складає 2–4 роки, залежно від кліматичних умов регіону, рівня вентиляційного навантаження та комплексної інтеграції інших енергоефективних рішень у будівлі.

9. Зауваження та дискусійні питання.

1. Автору доцільно було конкретизувати на стор. 6 - 8, який саме тип енергоощадних будівель (житлові, громадські чи промислові) розглядається як основний об'єкт упровадження результатів.

2. У пункті 1.1 автором наведено класифікацію енергоефективних будівель. На мій погляд було б корисно доповнити аналіз впливом архітектурно-планувальних рішень на ефективність природної вентиляції.

3. У табл. 1.2 наведено енергетичну класифікацію будівель за європейськими стандартами, чи було розглянуто автором можливість адаптації цих показників для умов України?

4. У пункті 1.2 не наведено даних щодо впливу відносної вологості зовнішнього повітря на ефективність пасивної вентиляції, оскільки вологість впливає на густину, в'язкість та ентальпію повітряного потоку, що, у свою чергу, може змінювати умови руху повітря й ефективність природної тяги.

5. У пункті 1.3 при розгляді схемних рішень варто було б уточнити, які параметри повітрообміну приймалися за нормативні.

6. У пункті 1.4 при огляді сучасних пасивних систем бажано було б навести порівняння вітровловлювача із типовими дефлекторами за коефіцієнтом аеродинамічного опору.

7. У пункті 1.5 автором розглянуто вентиляція, що діє за рахунок ефекту Стека. Доцільно було б зазначити межі застосовності методики, оскільки для будівель висотою понад 10 м спрощені розрахунки можуть не враховувати зміни тиску, температурної стратифікації та аеродинамічного опору по висоті каналу.

8. У пункті 2.2 слід було зазначити, чи формули (2.1) - (2.4) отримані аналітично, чи є результатом апроксимації експериментальних даних.

9. У пункті 3.4 не наведено сумарної відносної похибки вимірювань. Автор міг би додати цей показник у подальших публікаціях.

10. У висновках можна було б окремо підкреслити наукове значення одержаної емпіричної залежності витрати повітря $L(V, \alpha)$, наведеної у попередніх публікаціях автора.

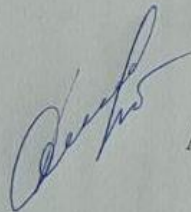
Зазначені зауваження не є суттєвими і не змінюють позитивної оцінки дисертаційної роботи.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Савіна Валерія Валерійовича на тему «Підвищення ефективності системи підтримання параметрів мікроклімату в енергоощадних будинках з пасивною вентиляцією» є завершеним науковим дослідженням, яке

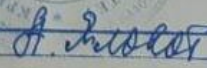
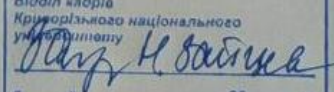
містить нові науково обґрунтовані результати. Зміст дисертації повною мірою відповідає вимогам освітньо-наукової програми підготовки докторів філософії за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» галузі знань 19 «Архітектура та будівництво». Робота узгоджується з вимогами, встановленими Міністерством освіти і науки України до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії (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 Савін Валерій Валерійович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» галузі знань 19 «Архітектура та будівництво».

Офіційна рецензентка,
кандидатка технічних наук, доцентка,
доцентка кафедри теплоенергетики,
Криворізького національного
університету



Альона ЯЛОВА



Підпис	
ЗАСВІДЧУЮ:	
Відділ кадрів Криворізького національного університету	
	
« » 20 р.	