

ВІДГУК

офіційної опонентки

кандидатки технічних наук, доцентки кафедри теплової та альтернативної енергетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

БІЛОУС ІННА ЮРІЙВНА

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

Проблема ефективного використання природної енергії у вентиляційних системах набуває особливої значущості через необхідність зниження енерговитрат будівель та підвищення їх екологічної безпеки. Традиційні системи вентиляції, що працюють за рахунок механічного спонукання повітряних потоків, супроводжуються істотними тепловими втратами та збільшенням експлуатаційних витрат, особливо в умовах сучасного енергоощадного будівництва.

Це питання є критичним для будівель енергоефективного та пасивного класу, у яких механічна вентиляція через високу повітронепроникність огорожувальних конструкцій часто є невиправдано енерговитратною. Застосування природної вентиляції або змішаних систем без спеціальних пристроїв не забезпечує стабільного повітрообміну та не враховує можливість повернення або збереження теплової енергії, що призводить до зниження енергоефективності будівлі.

Водночас у проектуванні, реконструкції та модернізації будівель активно розвиваються рішення щодо використання природних аеродинамічних процесів. Одним із таких перспективних напрямів є впровадження вітровловлювачів, здатних забезпечувати приплив або перерозподіл повітря за рахунок енергії

вітрового потоку. Такі пристрої можуть бути інтегровані як у проєкти енергоощадного будівництва, так і під час термомодернізації існуючих будівель.

Незважаючи на виражені переваги, нині бракує методик інженерного розрахунку гідродинамічних характеристик пасивної системи вентиляції, зокрема з вітровловлювачем, які враховують змінні кліматичні умови, геометрію вентиляційних каналів, архітектурні рішення будівель та гідродинамічні характеристики системи. Відсутність узагальнених моделей, експериментально перевірених залежностей та рекомендацій для проєктувальників стримує широке впровадження таких пристроїв у вентиляційній практиці.

Таким чином, актуальним науковим завданням є підвищення ефективності природної вентиляції в енергоощадних будинках шляхом впровадження вітровловлювачів.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

З метою досягнення поставлених наукових цілей у дисертаційній роботі реалізовано комплексний підхід, що поєднує аналітичне опрацювання фізичних закономірностей природної вентиляції, математичне та чисельне моделювання аеродинамічних процесів у вітровловлювачі, а також їх експериментальне підтвердження. Основну увагу приділено дослідженню механізмів формування повітряного потоку всередині вітровловлювача та оцінюванню його ефективності залежно від швидкості й кута атаки набігаючого повітряного потоку.

Математичне моделювання ґрунтується на застосуванні рівнянь руху повітряного потоку та критеріальних залежностей, отриманих на основі теорії подібності та розмірностей. Запропонована узагальнена модель витрати повітря $L(V, \alpha)$ відображає вплив реальних гідродинамічних параметрів і дозволяє кількісно оцінити продуктивність вітровловлювача при змінних зовнішніх умовах.

Чисельне моделювання, що було виконано з використанням інструментів обчислювальної гідродинаміки (CFD), дозволило отримати поля швидкостей і тиску, визначити особливості формування зон підвищеного та зниженого тиску на вході та виході вітровловлювача та оцінити вплив геометричних параметрів конструкції.

Порівняння експериментальних даних із результатами чисельного моделювання засвідчило їх узгодженість, що підтверджує коректність побудованої математичної моделі. Отримані залежності стали основою для розроблення інженерної методики розрахунку пасивних систем вентиляції з використанням вітровловлювача та створення практичних рекомендацій щодо його оптимального застосування в енергоощадних будівлях.

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

Проблематика підвищення енергоефективності будівельної інфраструктури є однією з ключових як для України, так і для світової спільноти. В умовах зростання вартості енергоресурсів, дефіциту потужностей центрального теплопостачання та необхідності адаптації до кліматичних змін особливої актуальності набувають технології, що забезпечують безенергетичне або малозатратне функціонування

систем вентиляції. Запропоноване у дисертаційній роботі дослідження пасивної вентиляції з використанням вітровловлювача безпосередньо відповідає цим стратегічним напрямом.

Для України, де значна частина житлового фонду характеризується низьким рівнем енергоефективності, а можливості масштабної модернізації обмежені економічними чинниками та наслідками військової агресії, впровадження пасивних систем вентиляції є економічно виправданим та технологічно раціональним рішенням. Використання вітровловлювачів дозволяє забезпечувати нормативний повітрообмін без застосування електроенергії або з мінімальними витратами, що сприяє зменшенню навантаження на енергетичну систему держави й підвищує комфорт та безпеку проживання населення.

На глобальному рівні результати роботи узгоджуються з тенденціями розвитку сучасних енергоощадних технологій, орієнтованих на зменшення викидів вуглецю, відповідність стандартам сталого будівництва та підвищення автономності інженерних систем. Використання природного потенціалу вітрового потоку як рушійної сили вентиляції відповідає принципам «зеленої» інженерії та підходам, закладеним у цілях сталого розвитку (SDG 7 та SDG 13), зокрема щодо скорочення енергоспоживання у житловому секторі.

Запропонована в дисертації модель ефективності вітровловлювача та розроблена методика інженерного розрахунку створюють передумови для подальшого розвитку національних технічних стандартів у сфері природної вентиляції. Крім того, локальне виробництво таких систем у перспективі може стати фактором економічного зростання, сприяти розвитку науково-технічного потенціалу України та забезпечити вихід на міжнародні ринки конкурентних технологій екологічно сталого будівництва.

Отже, дисертаційна робота має суттєве як загальнонаціональне, так і світове значення, оскільки спрямована на вирішення проблем енергетичної ефективності, екологічної стійкості та технологічної незалежності в умовах сучасних викликів.

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), 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 обґрунтовано актуальність проблеми, сформульовано мету та завдання досліджень, викладено наукову новизну та практичну цінність роботи, особистий внесок автора, відомості про апробацію досліджень та публікації.

У першому розділі автором виконано системний аналіз сучасних підходів до забезпечення мікроклімату в енергоощадних будівлях із урахуванням вимог сталого розвитку та мінімізації енергоспоживання. Проаналізовано існуючі вентиляційні системи з позиції їх ефективності, надійності та доцільності використання в різних кліматичних умовах. Особливу увагу приділено пасивним вентиляційним системам із використанням вітровловлювачів, які розглядаються як перспективний напрям підвищення енергоефективності будівель. Автором

виявлено основні переваги та обмеження таких систем, а також визначено актуальні наукові задачі, пов'язані з їхнім удосконаленням. У розділі також наведено аналіз стану впровадження міжнародних стандартів енергоефективності в Україні, що дозволило визначити науково-технічну проблему, на вирішення якої спрямоване подальше дослідження.

Другий розділ містить результати теоретичних досліджень та комп'ютерного моделювання пасивної системи вентиляції з використанням вітровловлювача. Автор детально розглянув аеродинамічні особливості функціонування конструкції, зокрема вплив швидкості та напрямку повітряного потоку на ефективність її роботи. За результатами числового моделювання в середовищі SolidWorks Flow Simulation визначено закономірності розподілу швидкостей, тиску та формування вихрових структур у межах вітровловлювача. Отримані результати свідчать, що вітровловлювач здатен забезпечити стабільний приплив зовнішнього повітря, мінімізуючи зворотні втрати та підвищуючи ефективність повітрообміну в приміщенні. У роботі також обґрунтовано доцільність використання вітровловлювачів у системах природної вентиляції енергоощадних і термомодернізованих будівель. Проведене моделювання підтвердило їх потенціал у зниженні енергоспоживання та покращенні параметрів мікроклімату, що має важливе практичне значення для сучасного будівництва.

У третьому розділі наведено результати експериментальних та аналітичних досліджень гідродинамічних характеристик вітровловлювача пасивної вентиляційної системи. Проведено оцінку ефективності роботи конструкції при різних швидкостях та кутах набігаючого потоку повітря. Встановлено, що навіть за низьких швидкостей витрата вловленого повітря відповідає мінімальним нормативним вимогам для житлових приміщень, а коефіцієнт корисної дії залишається високим (від 86,1% до 94,4%), що свідчить про стабільність та універсальність конструкції. Порівняння експериментальних даних із результатами комп'ютерного моделювання підтвердило їх точність (коефіцієнт кореляції 0,97, розбіжність до 8%). Визначено коефіцієнт місцевого опору ($\xi_{в/в} = 1,28$), який було рекомендовано для подальших інженерних розрахунків систем природної вентиляції.

У четвертому розділі детально представлено методику гідродинамічного розрахунку пасивної системи вентиляції з вітровловлювачем. Автор дослідив основні параметри, що визначають ефективність роботи системи, зокрема швидкість набігаючого повітряного потоку, аеродинамічний опір окремих елементів та гідростатичний тиск. Розроблений покроковий алгоритм розрахунку дозволяє враховувати втрати тиску у вітровловлювачі, повітропроводах та місцевих опорах, а також розподіл швидкостей у вентиляційних каналах. У розділі наведено універсальну залежність для визначення витрати вловленого повітря залежно від швидкості та кута набігаючого потоку, що дозволяє прогнозувати роботу системи у різних умовах експлуатації.

У п'ятому розділі виконано аналіз економічної доцільності використання вітровловлювачів у складі пасивних систем вентиляції для енергоощадних будинків. Автор встановив, що інтеграція цих пристроїв дозволяє знизити витрати на електроенергію, пов'язані з експлуатацією механічних вентиляційних установок, забезпечуючи економію коштів, особливо за умов підвищення тарифів. Розрахунки показали, що середній термін окупності встановлення вітровловлювачів становить 2-4 роки залежно від кліматичних умов, обсягу вентиляційного навантаження та рівня застосування інших енергоефективних рішень.

9. Зауваження та дискусійні питання

1. У таблиці 1.1 автору доцільно було би уточнити, що оцінювання енергоефективності будівель в Україні з 2017 року не включає енергоспоживання на потреби ГВП, а також вказати, для якого типу будівель та кліматичної зони наведено шкалу енергетичної класифікації, щоб окреслити межі застосовності наведеної таблиці.
2. У пункті 1.1 наведено градацію будівель, яку автор подає «згідно з європейським досвідом». Доцільно було би додати посилання на джерело або пояснити, чи є така класифікація узагальненням автора.
3. У таблиці 1.3 варто уточнити, чи наведена питома витрата теплоти стосується лише опалення, чи включає також потреби ГВП.

4. На рисунках 2.3 - 2.5 доцільно було би обґрунтувати вибір діапазону швидкостей повітряного потоку від 1,5 до 25 м/с, наприклад, пославшись на статистику швидкостей вітру.
5. Рисунки 2.3 - 2.5 доцільно було би перенести до додатків, оскільки містять розширені графічні матеріали.
6. У другому розділі варто додати опис математичної моделі, включно з граничними умовами та прийнятими спрощеннями.
7. Оскільки в роботі використано стаціонарний режим CFD-розрахунків, доцільно провести оцінку впливу динамічного характеру повітряного потоку на роботу вітровловлювача.
8. На рисунку 3.5 доцільно навести графік для кута набігання потоку 0° відмінним стилем лінії від кривої для 45° .
9. Варто навести в роботі опис використаних вимірювальних приладів, їх кількості та класу точності.
10. Доцільно вказати, що розрахунковий коефіцієнт $\xi_{в/в} = 1,28$ відповідає певній конкретній конструкції вітровловлювача.
11. Формули у четвертому розділі стилістично оформлені різнотипно, доцільно було би уніфікувати їх відповідно до єдиних вимог оформлення.
12. У четвертому розділі зазначено про підвищення рівня енергоефективності будівель, але кількісні оцінки не наведено. Було б доцільно продемонструвати підвищення рівня енергоефективності будівлі в порівнянні до та після застосування вітровловлювача.
13. Попри значну увагу до питань енергоефективності в першому розділі, у подальших розділах варто більшу увагу приділити показникам підвищення енергоефективності будівлі, а саме, як конструкція вітровловлювача впливає на енергоспоживання будівлі та комфортність з точки зору параметрів мікроклімату.
14. У пункті 5.2 доцільно навести, для якого саме типу та розміру будинку виконано економічний розрахунок.

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 завершеною науковою роботою, яка містить самостійно отримані нові наукові результати та відповідає вимогам, що ставляться в освітньо-науковій програмі «Будівництво та цивільна інженерія» третього рівня вищої освіти за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія», вимогам Міністерства освіти і науки України до дисертацій на здобуття кваліфікаційного рівня 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» (постанова Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 № 44), а її автор Савін Валерій Валерійович заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 19 «Архітектура та будівництво» за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

Офіційна опонентка,
кандидатка технічних наук, доцентка,
доцентка кафедри теплової та альтернативної енергетики
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»



Інна БІЛОУС

