

ВІДГУК

доктора технічних наук, професора,
професора кафедри «Теплогазопостачання і вентиляція»
Національного університету «Львівська політехніка»

Возняка Ореста Тарасовича

на дисертаційну роботу **Савіна Валерія Валерійовича**

на тему: **«Підвищення ефективності системи підтримання параметрів мікроклімату в енергоощадних будинках з пасивною вентиляцією»**,
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії (PhD)
за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія,
галузь знань 19 – Архітектура та будівництво.

1. Актуальність теми дисертаційної роботи.

У процесі впровадження політики енергозбереження та модернізації будівельного фонду України все більше уваги приділяється термомодернізації житлових будинків. Одним із наслідків таких заходів є герметизація зовнішніх огорожувальних конструкцій, що значно знижує рівень природної інфільтрації повітря, яка раніше компенсувала відсутність повноцінної припливної вентиляції. У результаті цього в термомодернізованих будинках фіксується погіршення якості повітряного середовища, підвищення вологості, зростання ризику появи плісняви та несприятливих умов мікроклімату для мешканців.

У цьому контексті постає необхідність у пошуку ефективних, енергоощадних рішень вентилявання приміщень, здатних забезпечити нормативний повітрообмін без застосування вентиляторів. Одним із таких рішень є використання вітровловлювачів – пасивних пристроїв, які дозволяють організувати приплив зовнішнього повітря до приміщення за рахунок енергії вітрового потоку. Проте їх широке впровадження в практику стримується відсутністю ефективних розрахункових методик, що враховують змінні кліматичні умови, архітектурні форми будівель і геометричні характеристики вентиляційних каналів, а також вплив гідродинамічних характеристик системи.

2. Наукова новизна.

Наукова новизна одержаних результатів характеризується наступним:

Вперше:

- 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 повітрязабору 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.

Набули подальшого розвитку: підходи до комплексної оцінки ефективності роботи пасивних систем вентиляції енергоощадних будинків із застосуванням вітровловлювачів.

3. Обґрунтованість і достовірність наукових висновків.

Забезпечено коректним використанням відомих методів досліджень і основних положень вентиляції, застосуванням сучасної вимірювальної апаратури (термоанемометра АТТ-1004), засобів математичного моделювання у програмному забезпеченні (ПЗ) Solidworks Flow Simulation та опрацювання результатів експериментальних досліджень, що підтверджено розбіжностями в допустимих межах результатів експерименту та моделювання.

4. Практична цінність роботи.

Результати дисертаційної роботи можуть слугувати базою для модернізації системи припливної вентиляції будівель з метою підвищення енергоефективності системи підтримання параметрів мікроклімату.

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

5. Повнота викладення здобувачем основних результатів.

Основні результати дисертаційної роботи відображені у наукових працях, серед яких: 4 статті у наукових фахових виданнях України; 1 стаття включена до міжнародної науково-метричної бази Scopus; 1 стаття у періодичних закордонних виданнях (Польща); у збірниках матеріалів наукових конференцій опубліковано 6 доповідей. Отримано 4 патенти України на корисну модель.

6. Особистий внесок здобувача:

Дисертаційна робота є самостійно виконаним дослідженням, що має теоретичне і практичне значення. Роботи [1-11, 13 – 16] виконані у співавторстві, а робота [12] – одноосібно.

В дисертації зазначено творчу участь автора в роботах, виконаних у співавторстві.

7. Оцінка мови, стиль та оформлення дисертації.

Дисертаційне дослідження складається зі вступу, п'яти розділів основної частини, загальних висновків, списку використаних літературних джерел із 181 найменування, трьох додатків, викладено на 227 сторінках друкованого тексту, зокрема 192 сторінки основного тексту, 74 рисунки і 14 таблиць.

Застосована в роботі наукова термінологія є загальноновизнаною, стиль викладення результатів теоретичних і експериментальних досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їхнього сприйняття. Оформлення дисертації відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України.

8. Аналіз основного змісту роботи.

Всі розділи дисертаційної роботи змістовно підпорядковані меті дослідження та логічно взаємопов'язані. Дисертація цілком відповідає паспорту спеціальності 192 – «Будівництво та цивільна інженерія».

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 представлено аналіз сучасних енергоощадних будівельних технологій та систем підтримання параметрів мікроклімату, що охоплює передусім вентиляційні рішення. Встановлено, що механічні системи вентиляції забезпечують стабільний повітрообмін, проте характеризуються значними енергетичними витратами. Виявлено, що пасивні вентиляційні рішення, зокрема з вітровловлювачем, здатні ефективно знижувати рівень енергоспоживання, забезпечуючи при цьому належний мікроклімат у приміщеннях. Зазначено, що в Україні активно впроваджуються міжнародні стандарти енергоефективності, однак вони ще потребують удосконалення, зокрема в частині застосування пасивних вентиляційних технологій. Відзначено, що хоча початкові витрати на впровадження енергоощадних систем вищі, вони компенсуються завдяки зниженню експлуатаційних витрат упродовж життєвого циклу будівлі. На основі проведеного аналізу сформульовано завдання дослідження, зокрема удосконалення методів розрахунку природної вентиляції з використанням вітровловлювача, дослідження впливу геометричних характеристик вітровловлювача на ефективність його роботи, порівняння ефективності пасивних та механічних рішень у різних умовах експлуатації, а також інтеграція пасивних систем у загальні схеми енергозбереження будівель.

У другому розділі представлено результати теоретичних досліджень та комп'ютерного моделювання роботи пасивної системи вентиляції з використанням вітровловлювача. Встановлено основні характеристики запропонованої конструкції вітровловлювача, зокрема її здатність забезпечувати стабільний приплив зовнішнього повітря незалежно від напрямку і швидкості повітряного потоку. Виявлено, що жалюзі вітровловлювача працюють як зворотний клапан, сприяють мінімізації зворотних втрат повітря та оптимізують рух повітряного потоку в системі. Розроблена фізична та числова моделі підтвердили доцільність інтеграції вітровловлювача як у енергоощадні, так і в термомодернізовані будівлі. На основі аналізу результатів моделювання в програмному середовищі SolidWorks Flow Simulation визначено гідродинамічні особливості роботи вітровловлювача. Встановлено закономірності зміни швидкості та тиску повітря, а також формування вихрових зон залежно від кута та інтенсивності повітряного потоку. Результати моделювання та аналізу підтвердили, що застосування вітровловлювача дозволяє зменшити залежність будівель від механічних вентиляційних систем, забезпечуючи покращення

параметрів мікроклімату завдяки стабільній природній подачі повітря, ефективному видаленню надлишкової вологи, вуглекислого газу та інших забруднень. Отримані результати показали, що при різних кліматичних умовах конструкція зберігає ефективність та сприяє кращому розподілу повітря в приміщеннях. На основі проведеного аналізу сформульовано завдання подальших досліджень, зокрема: оптимізація геометрії вітровловлювача, уточнення методів інженерного розрахунку, а також розширене вивчення його роботи в умовах сезонних коливань клімату.

У третьому розділі представлено результати експериментального й аналітичного дослідження гідродинамічних характеристик вітровловлювача пасивної системи вентиляції, що дозволило оцінити його ефективність за різних умов експлуатації. Досліджено, що основними факторами для визначення витрати вловленого вітровловлювачем повітря є швидкість та кут набігаючого повітряного потоку. Встановлено, що навіть за низьких швидкостей набігаючого повітряного потоку (приблизно 0,5 м/с) витрата вловленого вітровловлювачем повітря становить 10,26 – 11,97 м³/год, що відповідає мінімальним нормативним вимогам повітрообміну для житлових приміщень (10 м³/год на людину згідно з діючими будівельними нормами), що підтверджує здатність системи забезпечувати мінімальний рівень природної вентиляції навіть за несприятливих кліматичних умов. Максимальний коефіцієнт корисної дії (94,4%) зафіксовано при кутах набігаючого повітряного потоку 0° та 45°, що підтверджує здатність конструкції ефективно працювати в різних умовах. Мінімальне значення ККД (86,1%) спостерігалось при куті 22,5°, однак і воно належить до високого рівня, що свідчить про універсальність і стабільність функціонування вітровловлювача. Отримано залежності для визначення витрати вловленого вітровловлювачем повітря при змінних швидкостях та кутах набігаючого повітряного потоку. Порівняння отриманих результатів із даними комп'ютерного моделювання (Solidworks Flow Simulation) показало високий рівень збіжності. Коефіцієнт кореляції 0.97 та розбіжність, що не перевищує 8%, засвідчують надійність моделювання для прогнозування гідродинамічних характеристик вітровловлювача. Визначено коефіцієнт місцевого опору вітровловлювача ($\xi_{в/в} = 1.28$), який було рекомендовано для подальших інженерних розрахунків.

У четвертому розділі розроблено методику гідродинамічного розрахунку пасивної системи вентиляції з використанням вітровловлювача. Досліджено, що для прогнозування роботи вентиляційної мережі потрібно враховувати такі параметри, як швидкість набігаючого повітряного потоку, аеродинамічний опір елементів системи, гідростатичний тиск тощо. Встановлено, що алгоритм покрокового визначення гідродинамічних характеристик дає можливість здійснювати інженерні розрахунки з урахуванням втрат тиску у вітровловлювачі, повітропроводах, місцевих опорах, а також розподілу швидкостей у вентиляційних каналах. Одержано універсальну залежність для визначення витрати вловленого вітровловлювачем повітря із урахуванням швидкості та кута набігаючого на вітровловлювач повітряного потоку.

У п'ятому розділі представлено результати аналізу економічної ефективності застосування вітровловлювачів у складі пасивних систем вентиляції для енергоощадних будинків. Встановлено, що інтеграція таких пристроїв дозволяє суттєво зменшити витрати на електроенергію, пов'язані з

експлуатацією механічних вентиляційних установок, забезпечуючи фінансову економію в умовах зростання тарифів. Виявлено, що середній термін окупності інвестицій у встановлення вітровловлювачів становить 2 – 4 роки, залежно від кліматичних особливостей регіону, рівня вентиляційного навантаження та комплексу впроваджених енергоефективних рішень.

Окрім безпосереднього зниження енергоспоживання, застосування вітровловлювачів сприяє покращенню мікроклімату в приміщеннях, зменшенню навантаження на механічні компоненти вентиляційних систем, зниженню шумового впливу, а також продовженню терміну служби обладнання. На основі проведеного аналізу сформульовано завдання дослідження, що полягають у комплексній оцінці економічних вигод з урахуванням довгострокових експлуатаційних переваг та перспектив інтеграції таких систем на етапі проєктування нових або модернізованих будівель.

9. В роботі заслуговує уваги наступне:

1. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.
2. Зв'язок з роботами попередніх дослідників.
3. Впровадження результатів дослідження.
4. Деякі результати досліджень отримано вперше.
5. Опубліковано 16 наукових праць (1 стаття у НМБД Scopus, 4 патенти).
6. Апробації результатів дисертації на науково-технічних конференціях у кількості 6 та широкій «географії», зокрема закордонній.
7. Застосування належного математичного апарату та програмного пакету Solidworks Flow Simulation.
8. Планування повного факторного експерименту та регресійний аналіз.

10. Зауваження до дисертації

1. Розмірності величин слід наводити в системі SI. При застосуванні інших зручних позасистемних одиниць слід їх дублювати в дужках: «кВт год» - МДж, ГДж; «м³/год» - м³/с, тощо
2. Автор стверджує: «Апроксимація результатів досліджень показала, що величина місцевого опору вітровловлювача практично не залежить від швидкості набігаючого потоку» і наводить графік цієї залежності (рис. 3.10). Але місцевий опір апіорі не повинен залежати від швидкості, його величина визначається іншими чинниками.
3. Наявність некоректностей, наприклад: - ст.62, рис.1.16 – 1.18, ст.72, ст. 140: наведено загально відомі речі, а в розділі 5 – звичайні розрахунки, це є зайвим у наукових роботах; - ст.56, рис.1.13 та ст.176: у блок-схемах відсутній блок перевірки, це потребує додаткового пояснення; - табл. 3.4 – розмірність швидкості вказано як м³/год, а на ст.141 – розмірність діаметра вказано як м²; - ст.35 – «свіже повітря», ст.42 – «неперевершений комфорт», ст.45 – «нижчий в 0,6 раза», ст.52 – «перетин»; - рис. 3.5 – точки повинні з'єднуватись плавною кривою, а не ламаною, оскільки вони отримані з певною похибкою.
4. Точність результатів повинна бути оптимальною, не слід вдаватися до надмірної точності: ст.146 – рівняння апроксимації $y=32,185x-7,4742$; у 3 розділі: «витрата вловленого вітровловлювачем повітря становить 10,26 – 11,97 м³/год;

5. Не у всіх формулах (ст.31) наведено пояснення величини та вказано їх нумерацію. Потребує пояснення розмірність 17,04 млн т.н.е., наведена на ст.38.
6. Розділ 5: «середній термін окупності становить 2 – 4 роки», вказано проміжок, проте наводиться інша величина «термін окупності 2,62 роки. Це потребує додаткового пояснення.
7. Слід використовувати пасивний стан, наприклад «розраховуємо...» - доцільно вживати «розраховано», тощо.
8. Висновки повинні бути лаконічними з обґрунтованим поясненням результатів, а більшість з них є звичайною констатацією.
9. Редакційно-стилістичні зауваження щодо помилкових виразів, слів, букв, цифр, розділових знаків, дужок, індексів, тощо, наприклад:
- ст. 35: «... будівля, у котрій...» - будівля, в якій; - ст. 84, формула 1.13 – індекси англомовні; - ст. 85: «0,5...1,0 м/с.» - 0,5 – 1,0 м/с.

ВИСНОВОК

Наведені зауваження не є суттєвими і не знижують наукової цінності дисертаційної роботи, яка виконана на належному рівні, а її результати можуть мати практичне застосування у галузі будівництва. Дисертація В.В. Савіна «Підвищення ефективності системи підтримання параметрів мікроклімату в енергоощадних будинках з пасивною вентиляцією» є завершеною науковою роботою, що містить нові наукові положення, які вирішують важливу задачу підвищення ефективності системи підтримання параметрів мікроклімату в енергоощадних будинках з пасивною вентиляцією.

У дисертації та роботах здобувача не виявлено ознак академічного плагіату та інших порушень, що могли б поставити під сумнів дотримання норм академічної доброчесності або самостійність виконання дослідження.

Дисертація В.В. Савіна відповідає паспорту спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, галузь знань 19 – Архітектура та будівництво. Вона відповідає вимогам наказу МОН України №40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації (зі змінами, внесеними від 12.07.2019 р.), Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження наукового ступеня доктора філософії (Постановою Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. №44 зі змінами).

Рекомендую роботу до захисту на разовій спеціалізованій вченій раді та даю свою згоду бути офіційним опонентом за цією дисертаційною роботою.

Офіційний опонент,

Доктор технічних наук, професор,

Професор кафедри «Теплогазопостачання і вентиляції»

Національного університету «Львівська політехніка»

Орест ВОЗНЯК

Підпис доктора технічних наук, професора,

професора кафедри «Теплогазопостачання і вентиляції»

Національного університету «Львівська політехніка»

О.Т.Возняка засвідчую:

Вчений секретар

Роман БРИЛИНСЬКИЙ