

## ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

д.т.н., проф. Горобця Валерія Григоровича

на дисертаційну роботу Яценко Олени Ігорівни

«Енергетичні показники динамічних режимів будівлі та інженерних систем», представлену на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань  
14 Електрична інженерія за спеціальністю 144 – Теплоенергетика

### Актуальність теми дисертації.

Низька енергоефективність житлового сектору України, яка підтверджується невисокими енергетичними показниками порівняно з будівлями в країнах ЄС, призводить до необхідності пошуку шляхів енергозбереження. Якісний аналіз перспективи впровадження енергоефективних заходів повинен враховувати взаємодію між температурним режимом всередині будівлі та факторами, які впливають на нього, тобто динамічну поведінку будівлі щодо факторів, які характеризують її температурний стан, вентиляційні характеристики, тощо.

Відомо, що оціночні енергетичні розрахунки за наближеними методиками не дозволяють побачити цілісну картину взаємодії всіх факторів. Тому, на сьогоднішній день, використання динамічного моделювання для енергетичного аналізу будівель та потенціалу їх енергоефективності є одним з найбільш перспективних напрямків у даній галузі.

Автором дисертаційного дослідження було проведено ряд моделювань приміщень з використанням різних пакетів прикладних програм. Крім того, проведені експериментальні дослідження систем опалення приміщень. Всі представлені моделі стосувалися ефективності управління режимами роботи інженерних систем будівель, що забезпечують мінімальні витрати енергії для підтримання нормованого мікроклімату в досліджуваних приміщеннях. Результати роботи демонструють глибокий аналіз динамічних факторів які впливають на вибір оптимального режиму роботи для систем опалення та вентиляції.



З урахуванням викладеного, робота Яценко О. І., яка присвячена підвищенню ефективності управління режимами роботи інженерних систем будівель при врахуванні впливу динамічних факторів за допомогою енергетичного моделювання, є актуальною як з наукової, так і з практичної точки зору.

### **Структура та обсяг дисертації.**

Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних літературних джерел з 112 найменувань. Загальний обсяг дисертаційної роботи складає 150 сторінок. Робота містить 55 рисунків та 81 таблицю.

### **Оформлення дисертації, стиль викладу та мова дисертаційної роботи.**

Дисертаційна робота оформлена відповідно до стандарту ДСТУ 3008-95 «Документація. Звіти у сфері науки й техніки. Структура і правила оформлення». Матеріал дисертації викладено в послідовності, що відповідає поставленим в роботі завданням, текст дисертаційної роботи написано у науковому стилі. Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Стиль висловлювання та подача матеріалу досліджень є логічними, послідовними і зв'язаними єдиною цільовою спрямованістю. Стиль викладу матеріалу дисертації, висновків, наукових положень є притаманним науковим дослідженням. Мова дисертації лаконічна, термінологічно відповідає сучасним нормам, коректна та зрозуміла.

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

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Яценко О. І. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 144 Теплоенергетика та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми Теплоенергетика.



Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям енергозбереження та підвищення ефективності теплоенергетичних систем. Отримані автором результати дисертаційного дослідження вирішують всі поставлені завдання та свідчать про хороший науковий рівень роботи та її методичну цінність.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадиння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Яценко Олени Ігорівни 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.

### **Основний зміст роботи.**

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, визначено її зв'язок з науковими програмами, планами і темами, сформульовано мету і основні завдання досліджень, розглянуто об'єкт, предмет та методи досліджень, визначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Наведено дані про апробацію результатів дисертаційної роботи. Приведені відомості про особистий внесок автора, опубліковані результати, структуру та обсяг роботи.

У першому розділі розглядається сучасний стан будівельного сектору, проведено аналіз сучасних підходів та тенденцій у сфері енергетичної ефективності будівель, включаючи енергетичне моделювання, розглянуто такі методи економії теплової енергії, як використання переривчастих режимів опалення і вентиляції. Значна частина першого розділу присвячена впливу вентиляційної складової на енергетичні показники будівель при дотриманні теплового комфорту та якості внутрішнього повітря. За результатами проведеного аналізу літературних джерел сформульовані завдання дослідження.

У другому розділі представлені використані в дисертації методи визначення енергетичних показників динамічних режимів будівель. Описано процес розробки трьох динамічних моделей, одна з яких є CFD-модель житлового приміщення, дві інші – динамічні моделі з використанням програмного середовища Energy Plus. Описані моделі стосуються житлових



приміщень та громадської будівлі. Окрема увага приділяється методам експериментально-розрахункового визначення показників теплового комфорту приміщень, таких як внутрішня температура, концентрація CO<sub>2</sub> та кратність повітрообміну.

**В третьому розділі** приведені результати моделювання та їх аналіз щодо впливу режимів роботи інженерних систем на енергетичні показники будівель з використанням пакету прикладних програм Energy Plus. Проаналізовано ступінь впливу різних динамічних факторів, температури зовнішнього середовища, сонячних теплонадходжень та інших факторів на тепловий комфорт і енергоспоживання приміщень у часі. Даний аналіз здійснено на базі отриманих фактичних даних про внутрішню температуру і рівень повітрообміну, які були використані при моделюванні, та на основі інших варіантів вихідних даних для динамічних моделей. Результати, представлені у даному розділі, були враховані при розробці переривчастих режимів опалення і вентиляції з метою мінімізації енергетичних витрат для підтримання нормованого мікроклімату в громадських та житлових приміщеннях.

**У четвертому розділі** проведено дослідження енергетичних показників роботи підсистеми тепловіддачі у програмному середовищі Ansys Fluent для процесів гідродинаміки і теплопереносу. Представлена CFD-модель використана для: дослідження швидкості розігріву та охолодження приміщення при застосуванні переривчастого режиму опалення, визначення складової загальної ефективності, яка відповідає за вертикальний профіль розподілення температури повітря у приміщенні, впливу повітрообміну на внутрішні умови комфортності. Моделювання гідродинамічних процесів у досліджуваному приміщенні було реалізоване у стаціонарному та нестаціонарному режимах.

**Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які захищаються.**

Положення та висновки дисертаційної роботи достатньо обґрунтовані теоретичними та експериментальними дослідженнями. Ця оцінка базується на коректній постановці мети та завдань дослідження, використанні перевірених вихідних даних, застосуванні адекватних методів досліджень, логічному та



чіткому формулюванні їх результатів. Про необхідний ступінь наукового обґрунтування та верифікації основних положень дисертаційної роботи свідчить також всебічна апробація результатів у вигляді публікацій та доповідей на міжнародних науково-практичних конференціях, які входять в наукометричну базу Scopus і Web of Science.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

### **Наукова новизна отриманих результатів.**

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

- вперше запропоновано алгоритм визначення складової загального рівня ефективності системи тепловіддачі, яка відповідає за вертикальний профіль розподілення температури повітря у приміщенні, за допомогою CFD-моделювання;
- вдосконалено підходи до енергетичного моделювання будівель шляхом одночасного врахування ряду динамічних факторів, включаючи наявність людського фактору, змінні режими роботи систем опалення та вентиляції, погодні умови;
- вперше проведено порівняння різних підходів для вирішення задач підтримання необхідного повітрообміну в кімнатах житлового приміщення при енергетичних розрахунках, включаючи використання ряду діючих стандартів та враховуючи результати експериментальних досліджень;

### **Практичне значення одержаних результатів.**

Основні результати теоретичних і експериментальних досліджень були впроваджені в ГО "Асоціація енергоаудиторів України", ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», а також використовуються в навчальному процесі при підготовці студентів навчально-наукового інституту атомної та теплової енергетики «КП» ім. Ігоря Сікорського на кафедрі «Теплової та альтернативної енергетики». Практичне



значення одержаних результатів підтверджується актами впровадження результатів досліджень.

**Повнота викладення наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях.**

Наукові результати дисертації висвітлені у 10 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 5 статей у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 2 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та Scopus, з яких 1 стаття у виданні, віднесеному до першого квартиля Q1 відповідно до класифікації Journal Citation Reports; 3 статті в інших виданнях.

Обсяг друкованих робіт та їх кількість відповідають вимогам щодо висвітлення наукових результатів дисертації на здобуття наукового ступеня доктора філософії. Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

**Апробація результатів дисертації.** Результати дисертації були оприлюднено на 10 наукових фахових конференціях.

#### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

При загальній позитивній оцінці одержаних в роботі результатів і зроблених дисертантом висновків вважаю за необхідне зробити наступні зауваження.

1. При CFD-моделюванні процесів гідродинаміки і теплопереносу, яке приведено в розділі 2, при геометричній побудові кімнати, яка вибрана як об'єкт дослідження, не вказані вентиляційні отвори (щілини) за рахунок яких відбуваються вентиляційні процеси, які можуть суттєво впливати на гідродинамічні і теплові режими в системі опалювання кімнати. В тексті сказано, що в приміщенні наявні щілини без вказання їх розмірів, наведена витрата повітря 0,0057 кг/с і згадано про граничну умову для тиску без



конкретизації (див. стор. 67). Слід зауважити, що при наявності природної вентиляції витрата повітря залежить від різниці тисків в приміщенні і поза його межами. Ця витрата знаходиться в процесі моделювання і може змінюватись в залежності від температурного режиму в приміщенні, тому не може бути однозначною.

2. В розділі 2 (табл. 2.12) наведено порівняння теплового навантаження в кімнаті, яке отримано при використанні програмного середовища EnergyPlus і Ansys Fluent проте не вказано величину розбіжності між ними та методику визначення величини цього навантаження при застосуванні пакета Ansys Fluent.

3. Оскільки в процесі експериментальних досліджень вимірювалась температура в окремих точках кімнати було б бажано порівняти отримані значення з результатами чисельного моделювання при використанні пакета Ansys Fluent та визначити похибки обчислень.

4. В формулах (4.6) розмірності величин для витрат теплоти  $Q$  (кВт год) і температур  $t$  (градус К) відрізняються, тому в другій частині формул повинен стояти коефіцієнт, який зробить ці розмірності ідентичними.

5. На рис. 4.8 наведені залежності зміни середньооб'ємної температури і температури в робочій зоні від кратності повітрообміну в приміщенні. Незрозуміло як вводилась кратність повітрообміну в математичну модель, яка описує гідродинаміку і теплоперенос в пакеті прикладних програм Ansys Fluent.

В цілому, представлені зауваження не є визначальними та не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

### **Висновок про дисертаційну роботу.**

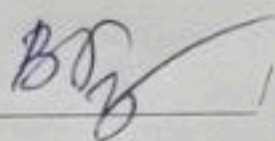
Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Яценко Олени Ігорівни на тему «Енергетичні показники динамічних режимів будівлі та інженерних систем» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має важливе значення для теплоенергетичної галузі. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що



передбачені в п. 6 – 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 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Яценко Олена Ігорівна заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 14 Електрична інженерія за спеціальністю 144 Теплоенергетика.

Офіційний опонент:  
доктор технічних наук,  
професор,  
професор кафедри  
теплоенергетики  
Національного  
університету біоресурсів  
і природокористування  
України

  
(підпис)

Валерій ГОРОБЕЦЬ

М.П.

« 15 » травня 2023 року

