

УДК 697.1

Яценко О. І., ас.

Кафедра теплотехніки та енергозбереження

ЗАСТОСУВАННЯ CFD-МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ

У даній роботі досліджено показники постійного та переривчастого режимів роботи системи опалення приміщення на основі CFD-моделі, створеної в програмному середовищі ANSYS Fluent. Також, представлено пропозицію щодо застосування подібної моделі для оцінки енергоефективності підсистеми тепловіддачі шляхом аналізу тепловтрат спричинених неоднорідністю розподілення внутрішньої температури.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: енергоефективність, CFD-моделювання, переривчасте опалення, ANSYS Fluent, підсистема тепловіддачі.

In this paper characteristics of constant and intermittent heating modes are investigated by energy CFD-modelling in the software environment ANSYS Fluent. Also, a proposal of using such model to assess the energy efficiency of heat emission system is presented. The coefficients responsible for a vertical temperature profile were investigated to analyze the heat losses caused by the non-uniform temperature distribution.

KEY WORDS: energy efficiency, CFD modeling, intermittent heating, ANSYS Fluent, heat emission system.

Вступ

Відомо, що програми державної підтримки в сфері енергоефективності будівель орієнтовані здебільшого на заходах, пов'язаних з централізованим теплопостачанням або утепленням огорожувальних конструкцій. Менше уваги приділяється організації теплового режиму локальних приладів опалення, за допомогою яких і забезпечуються комфортні температурні умови та ефективне використання енергії. Тож для правильної організації теплового режиму потрібно врахувати велику кількість контрольованих та неконтрольованих факторів всередині та ззовні будівлі, а також теплоінерційні властивості конструкцій у часі [1]. Останнє і було метою даного дослідження.

Мета та завдання

Метою даної роботи є представлення результатів аналізу постійного та переривчастого режимів опалення. Для створення моделі житлового приміщення використовується програмне забезпечення для моделювання гідродинамічних процесів ANSYS Fluent.

Відповідно до поставленої мети були виконані такі завдання:

1. Створення 3D моделі кімнати в програмному середовищі Ansys Fluent.
2. Аналіз охолодження кімнати при вимкненні приладу опалення.
3. Аналіз нагріву кімнати при роботі приладу опалення з різною температурою поверхні.
4. Дослідження впливу приладу опалення на енергоефективність системи тепловіддачі

Опис досліджуваного приміщення

Досліджуване приміщення – житлова кімната площею 10,5 м²., розташована в багатоквартирному будинку з середнім рівнем теплового захисту у м. Києві. Кімната має одну зовнішню стіну з вікном, орієнтовану на схід. Три внутрішні стіни межують з іншими кімнатами з тим же температурним режимом. Внутрішня температура в кімнаті задана на рівні 22°C, при зовнішній розрахунковій для міста Києва мінус 22°C.

Опалення кімнати здійснюється за допомогою одного радіатора. Опалювальний прилад встановлено біля зовнішньої стіни під вікном без радіаційного захисту. Вентиляція у приміщенні природна. Забезпечується шляхом інфільтрації крізь нещільності огорожувальних конструкцій на рівні $0,56 \text{ год}^{-1}$, що відповідає нормі для приміщення даного призначення [2].

CFD-модель досліджуваного приміщення

Моделювання гідродинамічних процесів проводилося за допомогою програмного середовища Ansys Fluent, в якому використання рівнянь неперервності, руху та енергії дозволяє оцінити теплові та тривимірні поля потоку [3]. Приклади завдання умови для CFD-моделювання (CFD - Computational Fluid Dynamics) приміщень можна спостерігати в роботах [4, 5].

На рисунку 1 представлена розрахункова область для CFD-моделювання. Розрахункова сітка моделі складається з 676 144 вузлів і 637 297 елементів.

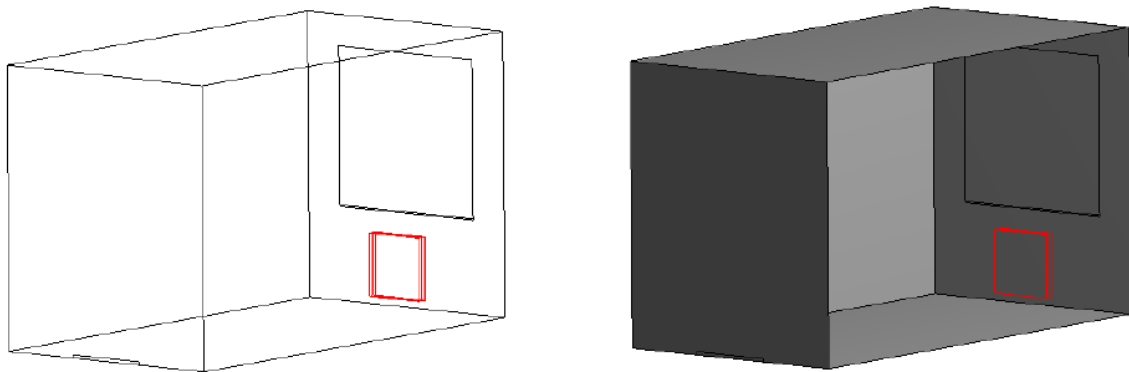


Рисунок 1 – 3D-модель досліджуваного приміщення

Опалювальний прилад (радіатор) розташований на відстані 0,1 м від зовнішньої стіни і від підлоги відповідно і складається з чотирьох поверхонь розмірами $0,6 \text{ м} \times 0,6 \text{ м}$ та товщиною 2,5 мм. Розміри радіатора були підібрані таким чином щоб забезпечити задану внутрішню температуру.

Так як повітрообмін в кімнаті забезпечується інфільтрацією, в моделі вентиляційний отвір розташований під вікном. Витрата повітря задана $0,0057 \text{ кг/с}$, що відповідає кратності повітрообміну $0,56 \text{ год}^{-1}$. Витік повітря в інші приміщення відбувається через отвір над підлогою в місці розташування міжкімнатних дверей.

При заданні огорожувальних конструкцій в даній CFD-моделі було застосоване поняття гомогенних еквівалентних стін для всіх поверхонь. Таким чином теплофізичні властивості конструкцій були задані як середні, при врахуванні товщини кожного шару. Характеристики гомогенних еквівалентних поверхонь зведені в таблицю 1.

Таблиця 1 – Характеристика гомогенних еквівалентних поверхонь конструктивних елементів приміщення

Тип конструкції	Товщина, м	Коефіцієнт теплопровідності, $\text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$
Зовнішня стіна (Сх)	0,47	0,535
Внутрішня стіна (Пд)	0,42	0,813
Внутрішня стіна (Зх/Пн)	0,165	0,42
Стеля/підлога	0,22	1,939
Вікно	0,038	0,0483
Радіатор (4 ребра)	0,0025	55,17

- При проведенні моделювання були прийняті наступні допущення:
- між поверхнею стін та середовищем було задано конвективний теплообмін;
 - в розрахунковій області має місце турбулентний режим течії з “k-epsilon” моделлю турбулентності;
 - в розрахунковій області є радіаційний теплообмін, врахований за допомогою радіаційної моделі “surface to surface”;
 - теплопровідність та в’язкість повітря не залежать від його температури.

Застосування CFD-моделі для аналізу переривчастого режиму роботи системи опалення

Перед початком моделювання стаціонарного режиму температуру поверхонь радіатора, яка забезпечує внутрішню температуру близько 22°C, досліджували за постійних умов. Таким чином для заданих параметрів радіатора температура його поверхні була підібрана на рівні 51°C.

Для перевірки якості моделі теплове навантаження приміщення в ANSYS Fluent порівнювалося з результатами моделювання даного приміщення в програмному середовищі EnergyPlus. Тож при внутрішній температурі 22°C теплове навантаження за результатами гідродинамічного моделювання становило 44,75 Вт/м², а за результатами моделювання в EnergyPlus – 48,73 Вт/м² [6].

Моделювання нестационарного режиму проводилося з урахуванням геометричних характеристик обчислювальної області, і для моделювання було обрано часовий крок в 60 секунд. Разом з увімкненням нестационарного режиму прилад опалення було вимкнено і досліджено час охолодження кімнати. Середньомасова внутрішня температура знизилась на 5,5°C за 180 хв. Також, необхідно зазначити що в процесі охолодження перші 60 хв середньорадіаційна температура була нижчою за середньомасову температуру, але при подальшому охолодженні ситуація стає зворотною. Потім для аналізу швидкості нагрівання приміщення було досліджено два варіанти з різною температурою поверхонь радіатора (55°C та 65°C):

- при температурі поверхні радіатора 55°C, приміщення нагрівається до 22°C за 280 хвилин;
- при температурі поверхні радіатора 65°C, приміщення нагрівається до 22°C за 120 хвилин.

На рисунку 2 показані результати моделювання нестационарних процесів у часі.

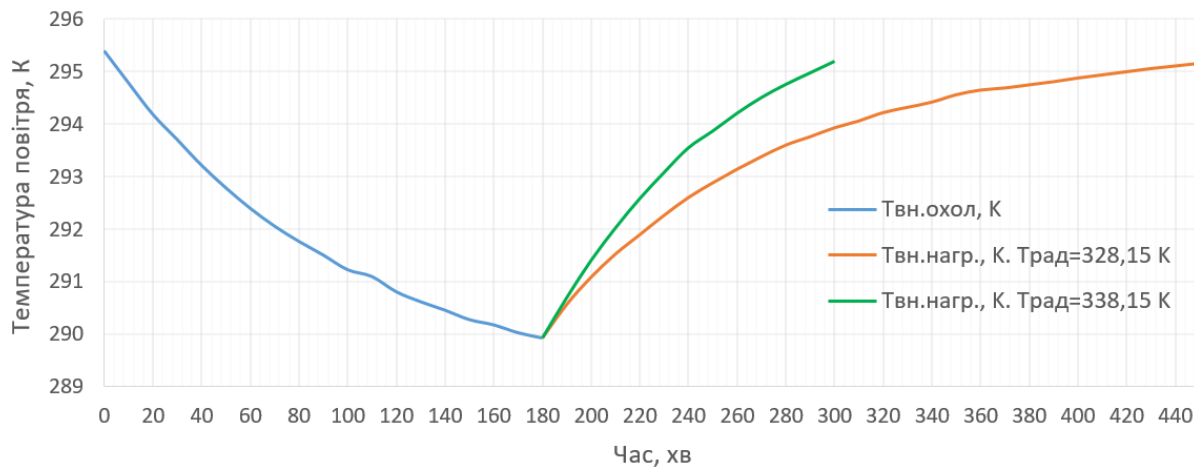
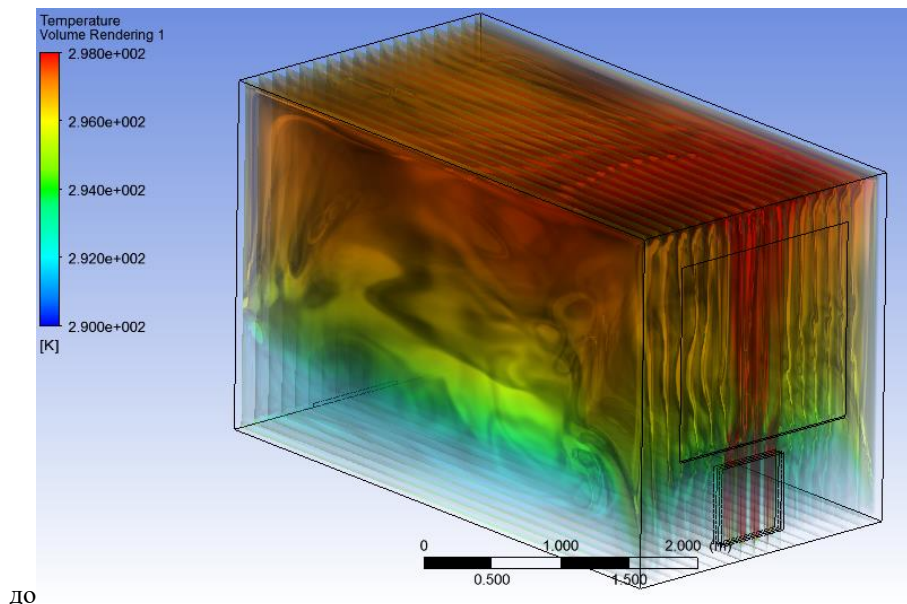


Рисунок 2 – Дослідження тривалості процесів охолодження та нагрівання приміщення при різних температурах поверхні радіатора

Застосування CFD-моделі для оцінки енергоефективності підсистеми тепловіддачі

При енергетичних розрахунках втрат теплоти в підсистемі тепловіддачі за ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [7] припускається, що температури в робочій зоні та внутрішня середньооб'ємна однакові та рівномірно розподілені у приміщенні. Для аналізу тепловтрат спричинених неоднорідністю розподілення внутрішньої температури, на базі CFD-моделі кімнати пропонується дослідити коефіцієнти, що відповідають за вертикальний профіль розподілення температури повітря. Даний підхід дозволить провести якісну оцінку коефіцієнтів, що враховують вплив температурного напору та питомі тепловтрати через зовнішні огорожувальні конструкції.

В основі розрахунку енергоспоживання на потреби опалення, згідно з [7], є припущення, що температура в робочій зоні та внутрішня середньооб'ємна однакові та рівномірно розподілені у приміщенні. Тому існує необхідність враховувати додаткові втрати теплової енергії, спричинені неоднорідністю розподілення внутрішньої температури, яка може бути результатом температурної стратифікації, радіації та конвекції від системи тепловіддачі через інші поверхні, підвищеним коефіцієнтом тепловіддачі біля вікон тощо. На рисунку 3 представлено об'ємну візуалізацію розподілу внутрішньої температури у досліджуваній кімнаті за заданих умов.



до

Рисунок 3 – Об'ємна візуалізація розподілу температур у кімнаті

Таким чином на базі CFD-моделі приміщення можна дослідити два коефіцієнти:

- коефіцієнт, що відповідає за вертикальний профіль розподілення температури повітря;
- коефіцієнт, що враховує питомі тепловтрати через зовнішні огорожувальні конструкції;

Висновки

Наявність результатів дослідження внутрішніх умов приміщення при стаціонарному та нестаціонарному режимах в програмі для гідродинамічного моделювання дає можливість прослідкувати вплив низки факторів на енергоефективність приладу опалення. Підводячи підсумки можна стверджувати, що повітря у приміщення охолоджується швидше ніж нагрівається за тієї ж самої температури радіатора. Тож існує необхідність у надбавці до теплового навантаження при переривчастих режимах роботи

системи опалення.

В ході CFD-моделювання також може бути отримано зміну середньооб'ємної температури та температури на робочій поверхні. Різниця між ними і впливає безпосередньо на значення коефіцієнтів складової загальної ефективності, які відповідають за вертикальний профіль розподілення температури повітря у приміщенні, та наведені в ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Тож методом гідродинамічного моделювання можна уточнити тепловтрати підсистеми тепловіддачі та наведені в ДСТУ коефіцієнти, що і стане напрямком наших майбутніх досліджень.

Список використаної літератури

1. Deshko V., Sukhodub I., Yatsenko O. (2020). Joint influence of intermittent heating mode and outdoor factors on apartment heat load. Collected scientific works of Ukrainian State University of Railway Transport, 191, 18-27.
2. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування. – [Чинний від 2014-01-01] – К.: Мінрегіон України, 2014. – 141 с.
3. Buratti, C., Palladino, D., & Moretti, E. (2017). Prediction Of Indoor Conditions And Thermal Comfort Using CFD Simulations: A Case Study Based On Experimental Data. Energy Procedia, 126, 115–122.
4. Gonçalves, J. C., Costa, J. J., & Lopes, A. M. G. (2019). Analysis of the air infiltration through THE doorWAY of a refrigerated room USING different approaches. Applied Thermal Engineering, 113927.
5. Goudarzi, N., Sheikhsahrokhdehkordi, M., Khalesi, J., & Hosseiniirani, S. (2021). Airflow and thermal comfort evaluation of a room with different outlet opening sizes and elevations ventilated.
6. Deshko V.I., Sukhodub I.O., Yatsenko O.I. (2021) Analysis of constant and intermittent heating modes using BEM and CFD simulation. Book of abstracts V International Scientific-Technical Conference “Actual Problems of Renewable Power Engineering, Construction and Environmental Engineering”, 3-5 June 2021. Kielce, Poland. Pp. 39-41.
7. ДСТУ Б А.2.2-12:2015 Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. – [Чинний від 01-01-2016] – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2015. – 202 с.