

Розробка комплексних рішень автоматизації торгівельно-розважального центру за критеріями енергоефективності з використанням елементів кіберфізичної системи

Юлія Паньків, студентка¹ (ORCID: 0009-0005-5149-8886), Микола Самойленко, асистент¹ (ORCID: 0000-0001-9410-6962)

¹ Київський національний університет будівництва і архітектури, проспект Повітряних Сил, 31, Київ, Україна, 03037

АНОТАЦІЯ

Розроблено комплексні рішення автоматизації систем опалення, вентиляції та кондиціонування у торгівельно-розважальному центрі з використанням елементів кіберфізичної системи. Поглиблено дослідження технологічних рішень, які спрямовані на оптимізацію енергоспоживання, підвищення комфорту та забезпечення надійної роботи інженерних систем будівлі, а також дано продовження дослідженням з використанням новітніх технологій, як-от цифровий двійник (DT), машинне навчання (ML) та штучний інтелект (AI) для забезпечення кращих умов комфорту при одночасному підвищенні енергоефективності, що буде сприяти перетворенню будівлі ТРЦ в розумну будівлю, яку можна інтегрувати в систему «розумне місто».

Ключові слова: системи опалення, вентиляції та кондиціонування, енергоефективність, інтернет речей (IoT); штучна нейронна мережа (ANN); Алгоритм кластеризації методом *k*-середніх (*k-means*), цифровий двійник (DT), машинне навчання (ML).

ВСТУП

Через зростання світової економіки та чисельності населення, що провокує збільшення попиту на опалення й охолодження актуальною задачею у розробці комплексної системи автоматизації кожної будівлі, особливо там, де зосереджено багато приміщень різного призначення та постійно перебуває велика кількість відвідувачів, є збалансування двох основних цілей: теплового комфорту та енергозбереження.

Робота містить огляд можливостей впровадження комп'ютерно-інтегрованих технологій як інструменту вдосконалити автоматизацію систем опалення, вентиляції та кондиціонування у ТРЦ, що дасть змогу оптимізувати використання енергетичних ресурсів загалом. Очікуємо, що дані дослідження будуть сприяти покращенню енергоефективності та інтеграції будівлі ТРЦ у систему «розумне місто».

1. МЕТА

Дослідження та вивчення потенціалу інструментів за допомогою AI/ML для покращення продуктивності ефективного контролю та автоматизації систем опалення, вентиляції та кондиціонування ТРЦ з точки зору комфорту для відвідувачів та енергоефективності; вдосконалення роботи систем опалення, вентиляції та кондиціонування за допомогою моделювання ANN.

2. ДОСЛІДЖЕННЯ КЛЮКОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА РІШЕНЬ АВТОМАТИЗАЦІЇ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ, ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ ТРЦ

Системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря відіграють значну роль у споживанні енергії будівлею, на них припадає близько 70% загального споживання енергії [5].

Технології, які використовуються у роботі для автоматизації систем опалення, вентиляції та

кондиціонування ТРЦ, умовно можна поділити на декілька груп, в залежності від їх призначення, функціональності та рівня впливу на систему.

- Комп'ютерні технології.

До них належать: розроблена система управління будівлею ТРЦ (BMS) – комплексна та цілісна система, що досягається шляхом інтеграції всіх інженерних систем будівлі в єдину інженерну екосистему; інтернет речей (IoT) – для моніторингу змін у навколишньому середовищі та генерування даних у «розумній» будівлі ТРЦ [4]; цифровий двійник (DT) – для прогнозування роботи систем без втручання у фізичну інфраструктуру шляхом збору інформації з датчиків IoT, а також машинне навчання (ML) та використання штучного інтелекту (AI) шляхом адаптивного управління мікрокліматом на основі аналізу даних та оптимізації роботи всього обладнання (налаштування оптимальних параметрів роботи теплових насосів або кондиціонерів, вентиляторів) за допомогою штучної нейронної мережі (ANN).

Статистичні результати показали, що з 1993 по 2020 рік середня економія енергії в будівлях завдяки застосуванню методів AI/ML досягла 31% [1]. Після 2020 року середнє ж зниження витрат за допомогою методів AI /ML склало до 34%, з максимальними 58% витрат на енергозбереження.

- Фізичні пристрої й обладнання

Основними енергоефективними рішеннями в системі опалення є зонування та використання терморегуляторів, в системі вентиляції та кондиціонування – використання рекуператорів тепла, а також застосування технології freecooling (вільного охолодження, що особливо актуальне для ТРЦ м. Києва, який знаходиться у помірному кліматі).

- Інженерні рішення та системи

Інтелектуальні системи управління повітрообміном дозволяють автоматично регулювати кількість повітря, що подається до приміщень, в залежності від рівня CO₂, вологості, температури або кількості людей у приміщенні (їх використовують дані від датчиків для автоматичного регулювання вентиляції).

3. МОДЕЛЮВАННЯ ТА ЗАПРОВАДЖЕННЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ НА ОБ'ЄКТІ

Можна визначити три типи методів оптимального управління навантаженням: 1) методи управління опаленням і охолодженням, засновані на мінімізації піків споживання; 2) методи управління опаленням, які базуються на підтримці комфортної температури в приміщенні; та 3) методи управління опаленням, засновані на оптимізації витрат на споживання.

Вивчаючи існуючі дослідження у галузі автоматизації інженерних систем, зокрема систем опалення, вентиляції та кондиціонування, а також застосування комп'ютерно-інтегрованих технологій та енергоефективних рішень у вітчизняних та зарубіжних науковців, ми виокремили широку варіативність застосування енергозберігаючих рішень, з поглибленим вивченням та подальшим впровадженням AI/ML.

Так, використовуючи температуру зовнішнього повітря за сухим термометром, вологість та задану температуру приміщення, запропонуємо прогнозну модель на основі ANN для попиту на охолодження будівлі[3].

Прогнозування температури повітря і вологості у будівлі ТРЦ може допомогти оптимізувати споживання енергії для кондиціонування повітря. Тому, треба застосувати дані показники для погодинного прогнозування (навіть наперед за добу) у будівлі ТРЦ, розташованому у м. Києві, що знаходиться у помірному регіоні. Вхідними даними, які використовуються в моделі, є 12 останніх значень температури повітря в приміщенні та на вулиці, а також відносної вологості. Експериментальні дані використано для визначення оптимальної структури ANN з використанням програмного забезпечення MATLAB. На рис. 1 зображена схема такого аналізу.

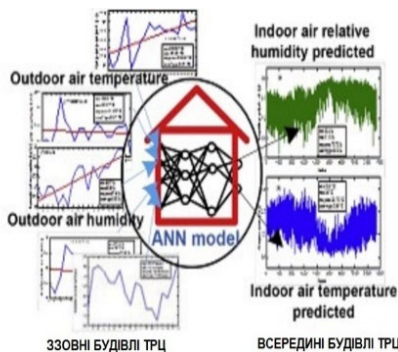


Рисунок 1. Схематичне зображення ANN-моделі для прогнозування потреб у енергії, спираючись на температурні показники та показники вологості повітря.

В даному дослідженні використано алгоритм k-means. Алгоритм кластеризації методом k-середніх (k-means), коефіцієнт кореляції R1 між зовнішньою температурою та енергоспоживанням кондиціонера, а також коефіцієнт кореляції між R2 людським потоком та енергоспоживанням кондиціонування повітря використовувалися як критерії скринінгу даних енергозбереження. Тож, згідно з чотирма різними сценаріями (температури, вологості, часу доби (а отже, і кількістю відвідувачів), отримали результати вище (див. рис. 2)

Таким чином, використовуючи вимірювання датчиків Інтернету речей, встановлених у різних місцях будівлі, і останній прогноз погоди можна отримати прогноз потреби в опаленні та охолодженні на добу вперед за допомогою запропонованої гібридної прогностичної моделі на основі машинного навчання.

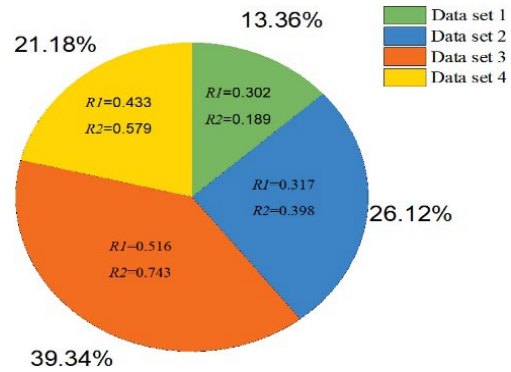


Рисунок 2. Схематичне зображення результатів алгоритму k-means в залежності від коефіцієнтів кореляції.

4. ВИСНОВКИ

Отже, шляхом розробки та аналізу рішень з автоматизації систем опалення, вентиляції та кондиціонування, а також за допомогою новітніх технологій, як-от AI/ML, розробили рішення для покращення продуктивності автоматизації систем опалення, вентиляції та кондиціонування ТРЦ з точки зору комфорту для відвідувачів та енергоефективності; а також для вдосконалення роботи систем опалення, вентиляції та кондиціонування за допомогою прогностичного моделювання ANN.

Список літератури

- [1] Chae Y.T.; Horesh R.; Hwang Y.; Lee Y.M. Artificial neural network model for forecasting sub-hourly electricity usage in commercial building. *Energy and Building*. 2016. Vol. 111, no. 1. P. 184–194. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.11.045>.
- [2] Ghezlane H., Mohamed E. Intelligent building control systems for thermal comfort and energy-efficiency: A systematic review of artificial intelligence-assisted techniques - *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2021. Vol. 12, no.3. P. 167–185. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110969>.
- [3] Mba L.; Meukam P.; Kemajou A. Application of artificial neural network for predicting hourly indoor air temperature and relative humidity in modern building in humid region. *Energy Build*. 2016. Vol. 121, no. 1. P. 32–42. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.03.046>
- [4] Luo X.J. Lukumon O. Development of an IoT-based big data platform for day-ahead prediction of building heating and cooling demands. *Advanced Engineering Informatics*. 2019. Vol. 11, no. 2. P. 173–197. URL: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2019.100926>.
- [5] Yeobeom Yoon, Byeongmo Seo. Potential Cooling Energy Savings of Economizer Control and Artificial-Neural-Network-Based Air-Handling Unit Discharge Air Temperature Control for Commercial Building. *Buildings*. 2023. 13(5). P. 1174. URL: <https://doi.org/10.3390/buildings13051174>.