

УДК 681.513:697.9

М.І. Мазуренко, аспірант гр. ПК-51ф, к.т.н., доц. Лисенко Ю.Ю.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗАЦІЯ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ КОНДИЦІЮВАННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СИСТЕМ ЗІ ЗМІННИМ ПОТОКОМ ХОЛОДОАГЕНТУ

Анотація. У статті розглянуто сучасні підходи до автоматизації керування кондиціонуванням на основі VRF-систем. Проаналізовано їх принцип роботи, конструктивні особливості та переваги над традиційними системами, а також алгоритми керування й підвищення енергоефективності.

Ключові слова: змінний потік холодоагенту; VRF-системи; автоматизація; кондиціонування повітря; енергоефективність; система керування; алгоритми регулювання; мікроклімат; моніторинг параметрів.

ВСТУП

Системи кондиціонування повітря зі змінним потоком холодоагенту (Variable Refrigerant Flow, VRF) упродовж останнього десятиліття стали однією з найперспективніших технологій для сучасних комерційних і житлових будівель. Їх ключова перевага — можливість точно регулювати кількість холодоагенту, що подається до кожного внутрішнього блока, забезпечуючи високу енергоефективність, гнучкість конфігурації та стабільність мікроклімату. Паралельно стрімко розвиваються системи автоматизації та інтелектуального керування, що дає можливість реалізувати складні алгоритми оптимізації, адаптації до змінних теплових навантажень і прогнозного управління.

Метою даної роботи є систематизація сучасних підходів до автоматизації VRF-систем, аналіз напрямів експериментальних та моделювальних досліджень, а також визначення перспектив їх подальшого розвитку.

1. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗВИТОК СИСТЕМ VRF ТА ВИМОГИ ДО АВТОМАТИЗАЦІЇ

VRF-технологія зазнала значного технічного прогресу, зокрема в частині інверторного керування компресорами, оптимізації теплообмінників та розгалужених схем подачі холодоагенту. Ключову роль у підвищенні ефективності відіграє точність керування масовою витратою холодоагенту, що можливе лише за наявності розвиненої системи автоматики [1].

Починаючи з 2015 року, у VRF-системах активно впроваджуються розширені алгоритми регулювання, датчики з відстеженням в режимі реального часу та цифрові контролери з розвиненим програмним забезпеченням. Саме у цей період відбулося масштабне переосмислення підходів до управління, орієнтоване на зниження фактичного споживання енергії у будівлях [2].

Сучасні VRF-системи застосовують складні алгоритми адаптивного керування, включно зі стратегіями оптимізації частоти обертання компресора, інтелектуального розподілу холодоагенту між внутрішніми блоками та підтримання роботи в енергетично мінімальному режимі [3].

У цьому контексті автоматизація відіграє критичну роль: контролери в режимі реального часу аналізують дані температури, тиску, витрати холодоагенту та навантаження компресора, формуючи оптимальні сигнали керування. Дослідники звертають увагу на зростання застосування прогнозних моделей, які дозволяють системі передбачати зміни в тепловому навантаженні.

2. РОЛЬ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗНОГО КЕРУВАННЯ

Значний внесок у розвиток автоматизації VRF-систем зробили роботи Рядченка та співавторів (2023), де розроблено комплексні методики моделювання роботи VRF у реальних умовах експлуатації. Математичні моделі дозволяють враховувати зміну режимів роботи будівлі, зовнішні кліматичні умови та внутрішні теплові навантаження [4].

Важливою складовою моделювання VRF-систем є можливість відтворення динамічних процесів теплообміну між внутрішніми блоками, магістральними трубопроводами та зовнішнім середовищем. На відміну від традиційних методів регулювання, що використовують фіксовані або емпіричні налаштування, математичні моделі забезпечують точне визначення оптимальних параметрів роботи компресора та електронних розширювальних клапанів. Це дозволяє підвищити стабільність роботи системи та мінімізувати перерегулювання, зменшуючи енергетичні втрати.

На даний час все більш актуальним стає застосування моделей прогнозного керування типу MPC (Model Predictive Control). На основі даних про майбутні кліматичні зміни, поведінку користувачів та інерційні властивості будівлі такі алгоритми визначають оптимальні режими роботи обладнання на кілька кроків уперед. Це не лише забезпечує високий рівень енергоефективності, але й підвищує комфорт, оскільки система завчасно реагує на зміну навантажень та компенсує можливі коливання температури.

Окрему увагу слід приділити проблемі інтеграції VRF-моделей у комплексні системи керування будівлями (BMS). Поєднання моделювання VRF із даними від інших інженерних систем — вентиляції, опалення, освітлення — відкриває можливості для створення єдиної інтелектуальної платформи.

Завдяки моделюванню можна створювати алгоритми прогнозного керування, що дають змогу зменшувати пікові навантаження, мінімізувати втрати енергії та підтримувати більш стабільний мікроклімат.

3. ПЕРЕВАГИ VRF-СИСТЕМАМ

При проведенні порівняльного аналізу ефективності VRF-систем та систем змінного об'єму подачі повітря (VAV), встановлено, що VRF демонструє стабільно нижчі втрати енергії при охолодженні, особливо у будівлях зі змінними тепловими навантаженнями та складними внутрішніми тепловими профілями [5].

Останні польові дослідження підтверджують, що фактичні енергетичні показники VRF близькі до прогнозованих виробниками, що свідчить про ефективність алгоритмів керування при правильному налаштуванні системи [6].

VRF-системи забезпечують значний потенціал енергозбереження у різних кліматичних зонах, особливо при використанні інтелектуальних контролерів та оптимізованих алгоритмів.

Останні наукові дослідження сфокусовані на систематизації чинників, що впливають на ефективність VRF-систем, включаючи якість автоматизації, точність алгоритмів розподілу холодоагенту та адаптивність до погодних умов.

Дослідники вказують, що подальше зростання ефективності буде залежати саме від удосконалення систем прогнозного керування [7].

ВИСНОВКИ

Системи кондиціонування зі змінним потоком холодоагенту сьогодні є одними з найбільш енергоефективних і технологічно гнучких рішень для сучасних будівель. Як показують численні дослідження, їхня ефективність значною мірою визначається рівнем автоматизації, якістю алгоритмів регулювання та можливістю адаптації до динамічних умов експлуатації.

Сучасні тенденції свідчать про перехід від статичних алгоритмів регулювання до повністю інтелектуальних систем, що використовують моделі прогнозування, машинне навчання та аналіз великих обсягів даних. Саме автоматизація стає ключовим фактором, який визначає майбутнє VRF-систем та їх здатність до подальшого зниження енергоспоживання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Lin, X., Lee, H., Hwang, Y., & Radermacher, R. (2015). A review of recent development in variable refrigerant flow systems. *Science and Technology for the Built Environment*, 21(7), 917–933.
- [2] Zhang, G., Xiao, H., Zhang, P., Wang, B., Li, X., Shi, W., & Cao, Y. (2019). Review on recent developments of variable refrigerant flow systems since 2015. *Energy and Buildings*, 198, 444–466.
- [3] Wan, H., Cao, T., Hwang, Y., & Oh, S. (2020). A review of recent advancements of variable refrigerant flow air-conditioning systems. *Applied Thermal Engineering*, 169, 114893.
- [4] Radchenko, M., Radchenko, A., Trushliakov, E., Pavlenko, A., & Radchenko, R. (2023). Advanced Method of Variable Refrigerant Flow (VRF) System Design to Forecast On-Site Operation — Part 3: Optimal Solutions to Minimize Sizes. *Energies*, 16(5), 2417.
- [5] Yu, X., Yan, D., Sun, K., Hong, T., & Zhu, D. (2016). Comparative study of the cooling energy performance of variable refrigerant flow systems and variable air volume systems in office buildings. *Applied Energy*, 183, 725–736.
- [6] Lee, J. H., Im, P., & Song, Y.-H. (2018). Field test and simulation evaluation of variable refrigerant flow systems performance. *Energy and Buildings*, 158, 1161–1169.
- [7] Chan, W., Radchenko, M., et al. (2025). A comprehensive review of influencing factors and energy efficiency improvement strategies for variable refrigerant flow systems. *International Journal of Refrigeration*, 179, 27–43.