УДК 697.9:519.863

В. В. Джеджула
В. Г. Пацукевич

БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМ МІКРОКЛІМАТУ БУДІВЕЛЬ: ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ТА ВИБІР КРИТЕРІЇВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Сформульовано задачу багатокритеріальної оптимізації систем мікроклімату будівель з критеріями енергоспоживання, теплового комфорту та витрат життєвого циклу і обмеженням за якістю повітря. На умовній моделі приміщення показано, що критерії енергоспоживання та теплового комфорту конфліктують, а обмеження за концентрацією CO_2 визначає мінімальну витрату зовнішнього повітря. Обґрунтовано застосування множини Парето та еволюційних алгоритмів для розв'язання задачі.

Ключові слова: мікроклімат, багатокритеріальна оптимізація, фронт Парето, тепловий комфорт, енергоспоживання, генетичний алгоритм NSGA-II.

Abstract

The problem of multi-objective optimization of building microclimate systems is formulated with energy consumption, thermal comfort and life-cycle cost criteria and an indoor air quality constraint. A simplified room model shows that the energy consumption and thermal comfort criteria conflict, while the CO_2 concentration constraint determines the minimum outdoor airflow. The use of the Pareto set and evolutionary algorithms for solving the problem is substantiated.

Keywords: microclimate, multi-objective optimization, Pareto front, thermal comfort, energy consumption, NSGA-II genetic algorithm.

Вступ

Системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря є одними з найбільших споживачів енергії в громадських будівлях, а їх проєктування і керування завжди є компромісом між витратами енергії та якістю внутрішнього середовища. Огляд 82 досліджень 2013–2022 рр. показав, що енергоспоживання, тепловий комфорт і якість повітря все частіше розглядають як конкуруючі цільові функції однієї задачі [2]. Поширеним інструментом її розв'язання є генетичний алгоритм NSGA-II у поєднанні із сурогатними моделями, зокрема регресією на опорних векторах [3]. Раніше було розглянуто стохастичну постановку задачі з урахуванням невизначеності вхідних параметрів [1].

Метою роботи є формалізація постановки задачі багатокритеріальної оптимізації систем мікроклімату та обґрунтування набору критеріїв і обмежень.

Результати дослідження

Задачу багатокритеріальної оптимізації системи мікроклімату запропоновано записувати у вигляді

$$\min F(x) = \{E(x), PPD(x), K(x)\}, \quad x \in X, \tag{1}$$

за обмежень

$$C_{CO2}(x) \le C_{доп}; \quad t_{min} \le t_в \le t_{max}, \tag{2}$$

де x — вектор змінних рішення (температура внутрішнього повітря $t_в$, витрата зовнішнього повітря L, параметри утилізації теплоти, режими роботи обладнання); E — енергоспоживання системи за розрахунковий період; PPD — прогнозований відсоток незадоволених тепловим середовищем; K — дисконтовані витрати життєвого циклу; X — множина допустимих рішень; C_{CO2}, $C_{доп}$ — розрахункова та допустима концентрації CO_2.

Розв'язком задачі (1)–(2) є не одна точка, а множина Парето-оптимальних рішень, жодне з яких не можна покращити за одним критерієм без погіршення за іншим. Остаточний вибір компромісного рішення здійснює особа, що приймає рішення, наприклад за методом зважених сум або методом TOPSIS (метод упорядкування за близькістю до ідеального рішення).

Для ілюстрації виконано розрахунок умовного офісного приміщення на 4 особи: коефіцієнт тепловтрат через огородження 60 Вт/К, усереднені внутрішні тепловиділення 250 Вт, тривалість опалювального періоду 4500 год, середня температура зовнішнього повітря 0 °С. Показник *PPD* визначався за методикою Фангера для теплоізоляції одягу 1,0 кло та рівня метаболізму 1,2 мет. Обмеження за CO_2 прийнято 1000 ppm за виділення 18 л/год на людину та концентрації в зовнішньому повітрі 420 ppm, що дає $L \geq 31$ м^3/(год·люд). Змінними рішення були $t_в$ = 18–24 °С та L = 15–60 м^3/(год·люд). Результати наведено на рис. 1.

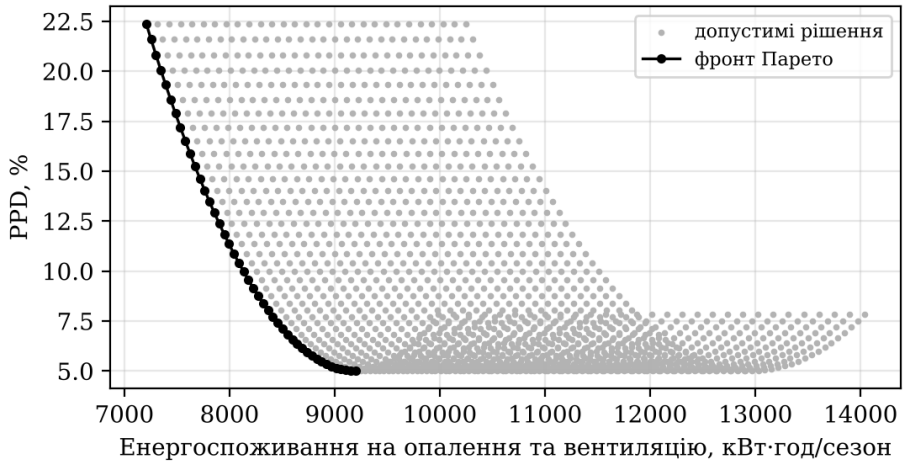


Рис. 1. Множина допустимих рішень і фронт Парето для умовного приміщення

Фронт Парето охоплює діапазон $t_в$ = 18,0–22,3 °С. Зниження *PPD* з 22,4 до 5,0 % потребує збільшення енергоспоживання з ≈7,2 до ≈9,2 МВт·год за сезон, тобто приблизно на 28 %. Обмеження за CO_2 активне на всьому фронті: оптимальна витрата повітря встановлюється на нижній допустимій межі, а подальше її збільшення лише підвищує енергоспоживання. Отже, критерій якості повітря доцільно задавати обмеженням, а не окремою цільовою функцією, якщо в системі немає утилізації теплоти.

Для задач з двома-трьома критеріями доцільно застосовувати алгоритм NSGA-II, для більшої кількості критеріїв — його модифікацію NSGA-III. Високу обчислювальну вартість енергетичного моделювання будівлі доцільно знижувати сурогатними моделями [3], а невизначеність кліматичних даних і режимів експлуатації — враховувати в стохастичній постановці задачі [1].

Висновки

Сформульовано постановку задачі багатокритеріальної оптимізації систем мікроклімату будівель з критеріями енергоспоживання, теплового комфорту та витрат життєвого циклу і обмеженнями за концентрацією CO_2 та температурою. На прикладі умовного приміщення кількісно показано конфлікт критеріїв: зниження частки незадоволених тепловим середовищем з 22,4 до 5,0 % потребує збільшення енергоспоживання приблизно на 28 %. Подальші дослідження спрямовані на включення в задачу витрат життєвого циклу та невизначеності вхідних параметрів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Пацукевич В. Г. Стохастична багатокритеріальна оптимізація систем мікроклімату будівель з урахуванням невизначеності вхідних параметрів / В. Г. Пацукевич // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. — 2026. — Т. 40, № 1. — С. 116–120. — DOI: 10.31649/2311-1429-2026-1-116-120.

2. Al Mindeel T. Energy, thermal comfort, and indoor air quality: Multi-objective optimization review / T. Al Mindeel, E. Spentzou, M. Eftekhari // Renewable and Sustainable Energy Reviews. — 2024. — Vol. 202. — Art. 114682. — DOI: 10.1016/j.rser.2024.114682.

3. Wang A. Multi-objective optimization of building energy consumption and thermal comfort based on SVR-NSGA-II / A. Wang, Y. Xiao, C. Liu, Y. Zhao, S. Sun // Case Studies in Thermal Engineering. — 2024. — Vol. 63. — Art. 105368.

Джеджула Вячеслав Васильович — д-р екон. наук, професор, в. о. завідувача кафедри міського будівництва та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: djedjula@vntu.edu.ua

Пацукевич Владислав Геннадійович — аспірант, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Dzhedzhula Viacheslav V. — Dr. Sc. (Econ.), Professor, Acting Head of the Department of Urban Construction and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: djedjula@vntu.edu.ua

Patsukevych Vladyslav H. — Post-Graduate Student, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia