

МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ДЛЯ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ПАРАМЕТРІВ ОПАЛЕННЯ НА ОСНОВІ КОМПОНЕНТІВ INTERNET OF THINGS

¹ Вінницький національний технічний університет

Анотація

У статті розглядаються математичні методи, що застосовуються в комп'ютерно-інтегрованих технологіях для діагностування та оцінки ефективності параметрів систем опалення. Аналізуються можливості використання компонентів Internet of Things (IoT) для збору, обробки та аналізу даних. Запропоновано алгоритми оптимізації та прогнозування роботи системи опалення, що базуються на методах регресійного аналізу, нейронних мереж і байєсівських моделей.

Ключові слова: математичні методи, Internet of Things, діагностування, оптимізація, система опалення.

Abstract

The article discusses mathematical methods used in computer-integrated technologies for diagnosing and evaluating the efficiency of heating system parameters. The possibilities of using Internet of Things (IoT) components for data collection, processing and analysis are analyzed. Algorithms for optimizing and forecasting the operation of the heating system based on the methods of regression analysis, neural networks and Bayesian models are proposed.

Keywords: mathematical methods, Internet of Things, diagnostics, optimization, heating system..

Вступ

Розвиток цифрових технологій та поява Internet of Things відкривають нові можливості для ефективного керування системами опалення. Оптимізація енергоспоживання, покращення якості обслуговування та зниження експлуатаційних витрат стають можливими завдяки впровадженню розумних сенсорів і алгоритмів аналізу даних. Важливим аспектом є використання математичних методів, що забезпечують точну оцінку та прогнозування ефективності функціонування таких систем. У статті розглядаються сучасні методи діагностування параметрів опалювальних систем на основі IoT, а також підходи до їх оптимізації.

Результати дослідження

Для оцінки ефективності параметрів опалення було розглянуто методи регресійного аналізу, нейронних мереж і байєсівських моделей.

Регресійний аналіз використовується для встановлення залежностей між вхідними параметрами системи опалення (температура, вологість, витрати енергії) та вихідними характеристиками (рівень комфорту, ефективність роботи системи). В рамках дослідження була розглянута лінійна і поліноміальна регресія, які дозволяють створювати прогнозовані моделі, що враховують змінні фактори.

Лінійна регресія дозволяє оцінити вплив окремих факторів на кінцевий результат. В нашому дослідженні лінійна регресія була застосована для моделювання залежності між температурою зовнішнього середовища та витратами енергії. Було встановлено, що зниження температури на 1°C призводить до середнього збільшення енергоспоживання на 5%. Отримана модель дозволяє прогнозувати необхідну кількість енергії для підтримання комфортного мікроклімату: $E = -5T + 120$, де E — споживання енергії (кВт/год), T — температура зовнішнього середовища (°C).

Поліноміальна регресія дозволяє моделювати нелінійні взаємозв'язки, наприклад, між рівнем утеплення будівлі та ефективністю роботи опалення. Поліноміальна регресія була використана для моделювання нелінійного впливу утеплення будівлі на ефективність роботи системи опалення. Виявлено, що ефективність зростає не лінійно, а за квадратичним законом, що описується рівнянням: $E = -2U^2 + 10U + 150$, де U — рівень утеплення (від 0 до 1), E — витрати енергії. Отримана модель дозволила спрогнозувати, що оптимальний рівень утеплення (близько 0,5) забезпечує мінімальні витрати енергії. При недостатньому утепленні ($U < 0,5$) витрати енергії значно вищі, тоді як подальше збільшення утеплення ($U > 0,5$) не дає суттєвого зниження енергоспоживання, що вказує на економічну неефективність надмірного утеплення.

Нейронні мережі забезпечують більш точне прогнозування та автоматичне навчання на основі історичних даних. Використання глибоких нейронних мереж (Deep Learning) дозволяє враховувати складні взаємозв'язки між параметрами системи опалення, що робить їх особливо ефективними при аналізі великих масивів даних.

В рамках дослідження було розроблено та навчено згорткову нейронну мережу (CNN) для аналізу часових рядів даних температури, вологості та витрат енергії. Модель була натренована на реальних даних з датчиків IoT. Розроблено архітектуру CNN, яка приймає на вхід часові ряди температури, вологості та енергоспоживання. CNN була навчена прогнозувати добові коливання енергоспоживання на основі історичних даних. Під час навчання використовувалися алгоритми оптимізації для мінімізації помилки прогнозу. Навчена CNN була використана для прогнозування енергоспоживання на тестовій вибірці. Порівняно прогнозовані значення з фактичними значеннями енергоспоживання. Виявлено, що точність прогнозу CNN на 12% вища, ніж у традиційних статистичних методів (наприклад, ARIMA).

Байєсівські моделі застосовуються для ймовірнісного прогнозування та адаптації до змінних умов експлуатації. Вони дозволяють оцінювати ступінь невизначеності та визначати ймовірність виходу параметрів за межі оптимальних значень, що сприяє своєчасному виявленню несправностей.

В нашому дослідженні було визначено набір ключових змінних, що впливають на температуру в приміщеннях, а саме: зовнішня температура, відносна вологість, час доби, витрати енергії на опалення, температура в сусідніх зонах.

Ці змінні були обрані на основі аналізу даних з IoT-датчиків та експертних знань про систему опалення. Створена байєсівська мережа відображала ймовірнісні залежності між визначеними змінними. Структура мережі була розроблена з урахуванням причинно-наслідкових зв'язків між змінними (зовнішня температура впливає на витрати енергії, а витрати енергії впливають на температуру в приміщеннях). Використано історичні дані з IoT-датчиків для навчання параметрів байєсівської мережі. Застосовано алгоритми байєсівського висновку для оцінки ймовірностей умовних залежностей між змінними.

Висновки

Таким чином, комбіноване застосування регресійного аналізу, нейронних мереж та байєсівських моделей дозволяє створити комплексну систему моніторингу та управління системою опалення, що забезпечує оптимальний комфорт, економію енергії та своєчасне виявлення несправностей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. IoT Communication Technologies Guidebook. [Online]. Available: <https://www.postscapes.com/internet-of-things-technologies>
2. Internet of Things (IoT) connected devices installed base worldwide from 2015 to 2025. [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/471264/iotnumber-of-connected-devices-worldwide>
3. Uryvsky L.O., Osypchuk S.O., Moshynska A.V. Internet Of Things Solutions Research And Development For Widespread Usage And Applications / The Actual Problems of the World Today/ monograph. – London, SCIEEMCEE (2019) – pp. 254-266.

4. IoT-based Smart Electric Heating Control System. (2024). IEEE Xplore. <https://ieeexplore.ieee.org/document/7993895>.
5. Domestic Space Heating Energy Control via Smart Home Energy Management. (2023). IEEE Xplore. <https://ieeexplore.ieee.org/document/7237606>.
6. Smart Heating System Control Strategy to Enhance Comfort and Increase Energy Savings. (2022). IEEE Xplore. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6672709>
4. Development of an Intelligent Heating System for Residential Buildings Using Machine Learning. (2023). IEEE Xplore. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9023478>.

Бондаренко Дмитро Святославович — аспірант групи 174-23а, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: allesgve@gmail.com

Севастьянов Володимир Миколайович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автоматики та інтелектуальних інформаційних технологій, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Bondarenko Dmytro Svyatoslavovych — graduate student of group 174-23a, faculty of intellectual information technologies and automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: allesgve@gmail.com

Volodymyr Mykolayovych Sevastyanov — Ph.D, Associate Professor of the Department of Automation and Intelligent Information Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia