

УДК681.518:621.316.7

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯМ КВАРТИРИ ПРИ ОБМЕЖЕНІЙ ПОТУЖНОСТІ

Біла Т.Я., кандидат технічних наук, доцент

Київський національний університет технологій та дизайну

Демішонкова С.А., кандидат технічних наук, доцент

Київський національний університет технологій та дизайну

Ключові слова: адаптивний алгоритм, математична модель, вимірювання, прогнозування, пріоритет, енергоспоживання.

У сучасних умовах воєнного стану в Україні питання ефективного використання електроенергії набуває особливої актуальності. Пошкодження енергетичної інфраструктури, дефіцит генеруючих потужностей та періодичні обмеження електропостачання зумовлюють необхідність раціонального керування споживанням електроенергії на рівні кінцевого споживача. Особливо це стосується житлового сектору, де користувачі дедалі частіше стикаються з обмеженням доступної потужності, використанням резервних джерел живлення, таких як інвертори, генератори та акумуляторні системи, а також необхідністю уникнення перевантажень електромереж.

Типова квартира оснащується значною кількістю електроприладів, зокрема бойлерами, кондиціонерами, електроплитами, пральними машинами та зарядними пристроями, сумарна потужність яких може перевищувати допустиму потужність вводу. У таких умовах неузгоджене використання приладів призводить до перевантажень, спрацювання захисних автоматів і зниження комфорту користувачів. Це обумовлює необхідність впровадження інтелектуальних систем керування навантаженням, здатних забезпечити ефективний розподіл електричної потужності в реальному часі з урахуванням обмежень мережі та поведінки користувача.

Сучасні підходи до управління побутовим енергоспоживанням охоплюють як локальні системи керування навантаженням (пасивні системи, релейні обмежувачі), так і ширші концепції енергоменеджменту в межах платформ «розумного будинку» та smartgrid[1-3]. Існуючі підходи до управління енергоспоживанням у побуті мають низку обмежень. Пасивні засоби захисту, такі як автоматичні вимикачі та запобіжники, не забезпечують прогнозування та реагують лише після виникнення перевантаження. Релейні системи обмеження потужності відключають менш пріоритетні навантаження при перевищенні порогу, однак не враховують контекст використання приладів і мають обмежену гнучкість. Платформи «розумного дому», наприклад HomeAssistant або KNX, дозволяють реалізовувати сценарне керування, проте зазвичай не містять спеціалізованих алгоритмів балансування потужності в реальному часі.

Промислові рішення класу smartgrid є функціонально потужними, але надмірно складними та економічно недоцільними для побутового застосування. Це зумовлює необхідність створення спеціалізованої інтелектуальної системи, орієнтованої на квартирний рівень.

В роботі запропонована інтелектуальна система енергоменеджменту з адаптивним алгоритмом керування, яка забезпечує оптимальний розподіл навантаження з урахуванням пріоритетів і поведінкових патернів користувача при обмеженій потужності електромережі у квартирі.

Математична модель системи описується наступним чином. Сумарна потужність навантаження визначається як:

$$P_{total} = \sum_{i=1}^n P_i;$$

де P_i – потужність i -го приладу; n – кількість активних приладів.

При цьому враховується обмеження системи:

$$P_{total} \leq P_{limit};$$

а перевантаження має місце за умови:

$$P_{total} > P_{limit};$$

де P_{limit} – допустима потужність електромережі.

Для прийняття рішення введена функція пріоритету:

$$U_i = w_i \cdot P_i$$

де w_i – ваговий коефіцієнт пріоритету i -го приладу ($w_i = 0 \dots 1$).

Вагові коефіцієнти можуть задаватися користувачем або визначатися адаптивно на основі аналізу історії використання електроприладів, причому в динамічному режимі система коригує ці коефіцієнти відповідно до поведінкових патернів користувача. Наприклад, високій рівень пріоритету – холодильник, освітлення; середній – електроплита, пральна машина; низький – бойлер, електрообігрівач.

Задача керування сформульована як оптимізаційна, де необхідно максимізувати функцію корисності:

$$\max \sum_{i=1}^n U_i \cdot x_i$$

за умови обмеження

$$\sum_{i=1}^n P_i \cdot x_i \leq P_{limit}, \quad x_i \in \{0, 1\},$$

де $x_i \in \{0, 1\}$ – стан приладу (0 – вимкнено, 1 – увімкнено).

Для підвищення ефективності використано прогнозування навантаження, яке описується залежністю:

$$\hat{P}(t+1) = f(P(t), P(t-1), \dots, P(t-k), T(t), h(t), u(t))$$

де – прогнозоване значення потужності; - попередні значення; $T(t)$ - час доби; $h(t)$ - історичні патерни споживання; $u(t)$ - вектор активності користувача.

Функція прогнозування реалізована методами машинного навчання зокрема з використанням моделей рекурентних нейронних мереж типу LSTM або, у спрощених випадках, авторегресійних моделей, що дозволяє враховувати часові залежності та поведінкові фактори.

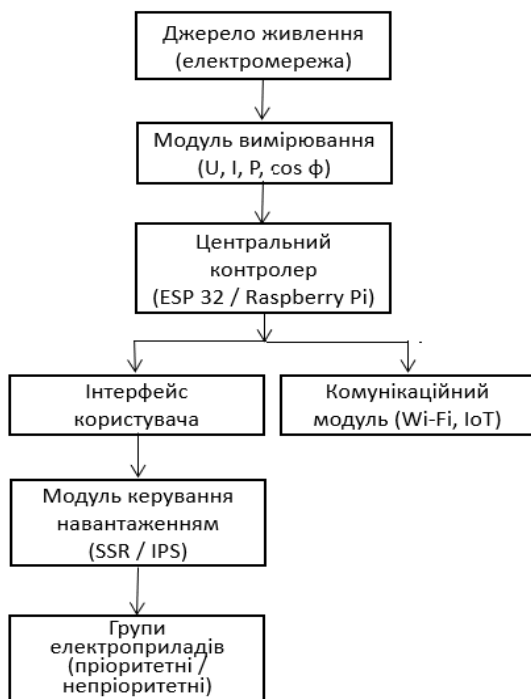
Прийняття рішень щодо комутації навантажень здійснено за критерієм оптимальності :

$$J = \sum_{i=1}^n w_i x_i - \lambda \max \left(0, \sum_{i=1}^n P_i x_i + \hat{P} ad - P_{limit} \right),$$

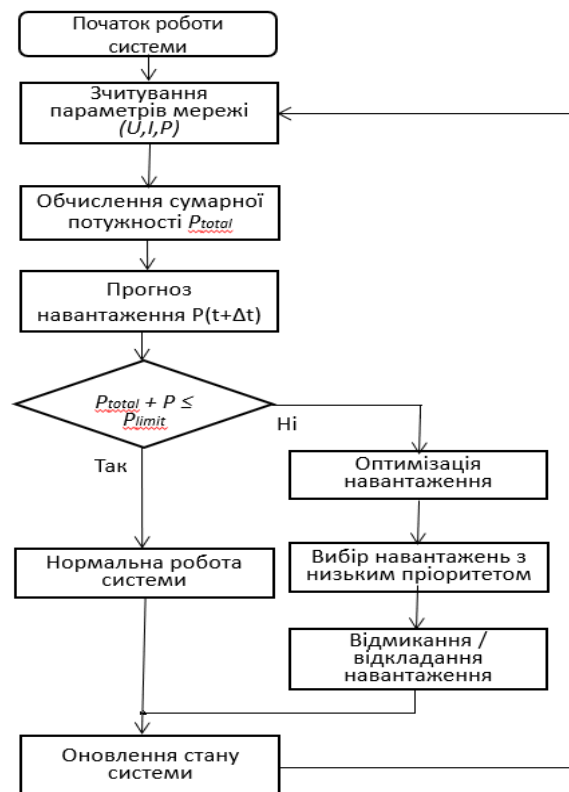
де- прогнозоване додаткове навантаження; λ -коефіцієнт штрафу за перевищення допустимої потужності.

Такий підхід враховує не лише поточний стан системи, а й очікувані зміни, забезпечуючи перехід з реактивного допроактивного керування.

Апаратно-програмну архітектуру запропонованої системи наведено на рис. 1,а. Для ілюстрації алгоритму роботи інтелектуальної системи керування з прогнозуванням навантаження наведено функціональну схему (рис. 1,б).



а)



б)

Рисунок 1 – Структурна (а) та функціональна (б) схеми

Апаратно-програмна реалізація системи (рис.1,а) передбачає використання датчиків струму, зокрема на базі ACS712 або аналогічних рішень, мікроконтролерів типу ESP32 або Arduino, а також комутаційних пристроїв, таких як електромагнітні або твердотільні реле, при цьому обмін даними може здійснюватися через бездротові протоколи, зокрема Wi-Fi, ZigBee або MQTT, що забезпечує інтеграцію із сучасними системами «розумного будинку».

Система здійснює моніторинг електроспоживання в реальному часі та прогнозує виникнення перевантаження до його фактичної появи (рис. 1,б). У разі ризику перевищення потужності виконується оптимізація складу активних навантажень: система автоматично відключає навантаження з найнижчим пріоритетом або змінює порядок їх ввімкнення. При цьому враховуються тривалість роботи пристрою, час доби, користувацькі налаштування. Система також може реалізовувати відкладений запуск (наприклад, запуск бойлера після завершення роботи пральної машини).

Результати моделювання показали, що застосування запропонованого підходу дозволяє зменшити кількість перевантажень електромережі приблизно на 30...45 % у порівнянні з традиційними релейними системами, а також знизити кількість аварійних відключень і підвищити комфорт користувача за рахунок оптимізації послідовності роботи електроприладів.

Таким чином, запропонована інтелектуальна система керування забезпечує ефективний розподіл навантаження в умовах обмеженої потужності електромережі, а використання адаптивних алгоритмів керування та прогнозування дозволяє підвищити надійність електропостачання та перейти до проактивного управління.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на інтеграцію з відновлюваними джерелами енергії та вдосконалення моделей прогнозування.

Список використаних джерел

1. Zhang Y., Chen W., Li N. Homeenergymanagementsystemconsideringpowerconstraintsandusercomfort // Energy. 2022. Vol. 239. 122180.
2. InternationalEnergyAgency. Electricity 2024: Analysisandforecastto 2026. Paris : IEA, 2024. URL: <https://www.iea.org/reports/electricity-2024>
3. ENTSO-E. EuropeanResourceAdequacyAssessment 2024 Edition. Brussels : ENTSO-E, 2024. URL: <https://www.entsoe.eu/>