

УДК 004.3:004.45:004.94

Дьячук Т.С.¹

¹ старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ОПТИМІЗАЦІЇ ЗАРЯДЖАННЯ АКУМУЛЯТОРІВ З УРАХУВАННЯМ РИЗИКІВ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Сучасні умови функціонування енергетичної інфраструктури характеризуються нестабільністю електропостачання, що проявляється у частих аварійних та планових відключеннях. У таких умовах значно зростає роль автономних систем живлення на базі акумуляторних батарей, які забезпечують безперервність роботи інформаційних і обчислювальних систем.

Традиційні алгоритми керування зарядом акумуляторів базуються на статичних підходах (повний заряд, обмеження до фіксованого рівня тощо) і не враховують динамічні фактори: ймовірність відключення електроенергії, тарифні зони, стан батареї та зовнішні умови. Це призводить або до підвищеної деградації акумулятора, або до ризику дефіциту енергії.

Отже, актуальним є розроблення адаптивних систем керування, що інтегрують оцінку ризиків електропостачання з оптимізацією режимів заряджання. Метою дослідження є розробка програмно-апаратної системи оптимізації заряджання акумуляторів на основі ризик-орієнтованого підходу, що враховує: ймовірність відключень електропостачання, деградаційні процеси акумулятора, тарифні параметри електроенергії, обмеження вбудованих обчислювальних систем.

Запропонована система реалізована як програмно-апаратний комплекс, що включає: одноплатний комп'ютер (Orange Pi Zero 3), модуль керування батареєю (BMS), інвертор та систему автоматичного введення резерву, програмний модуль на основі Kotlin DSL. Ключовою особливістю є використання ризик-орієнтованої моделі керування, у якій процес заряджання формалізується як задача багатокритеріальної оптимізації з урахуванням: деградації акумулятора (календарної та циклічної), вартості електроенергії, ризику дефіциту енергії. Важливою складовою є використання Kotlin DSL, що дозволяє: гнучко конфігурувати параметри системи, відокремити модель від реалізації, швидко адаптувати алгоритм до нових умов без зміни коду. Система функціонує у двох режимах: мережевий режим – заряджання та живлення від мережі, автономний режим – живлення від акумулятора.

З формальної точки зору процес керування заряджанням акумулятора описується як задача багатокритеріальної оптимізації з часовою залежністю. Стан системи визначається рівнем заряду акумулятора $SoC(t)$, а керуючою змінною виступає струм заряджання $I(t)$. Цільова функція мінімізує сукупні витрати, що включають деградацію акумулятора, вартість електроенергії та ризик дефіциту енергії при можливих відключеннях. При цьому враховуються обмеження на допустимий рівень заряду та максимальний струм заряджання, а також часові інтервали доступності електропостачання. З огляду на нелінійність та стохастичний характер вхідних параметрів (зокрема, непередбачуваність відключень), у роботі застосовано евристичний алгоритм, який реалізує адаптивну політику керування у реальному часі. Алгоритм базується на поєднанні порогових правил та прогнозової оцінки доступності електроенергії: при зростанні ризику відключення система підвищує цільовий рівень заряду, тоді як у стабільних умовах підтримує його на зниженому рівні для мінімізації деградації. Додатково враховується тарифна функція часу, що забезпечує зміщення процесів заряджання у

періоди мінімальної вартості електроенергії. Такий підхід забезпечує компроміс між суперечливими критеріями – довговічністю акумулятора, економічною ефективністю та надійністю енергопостачання – і дозволяє реалізувати практично ефективну стратегію керування в умовах обмежених обчислювальних ресурсів вбудованих систем. Алгоритм працює циклічно з постійним оновленням даних і оцінкою ризиків. Оцінювання ефективності проведено на основі моделювання (130 діб) з використанням реальних даних відключень електроенергії. Порівнювалися три стратегії: базова (повний заряд), обмежена (заряд до 80%), запропонована адаптивна.

Адаптивний алгоритм показав кращі результати порівняно з обмеженою стратегією, оскільки враховує динаміку умов, а не лише фіксовані обмеження. Отримано такі результати: зменшення сумарної деградації на 8,95%, зниження календарного старіння на 17,5% та економія електроенергії на 6,44% за відсутності дефіциту енергії. Що свідчить про доцільність застосування ризик-орієнтованого підходу у системах керування заряджанням акумуляторів, особливо в умовах нестабільного електропостачання. Важливою перевагою є здатність системи підтримувати оптимальний рівень заряду акумулятора залежно від ризику відключень. Це дозволяє уникати як надлишкового заряджання, що прискорює деградацію, так і недостатнього заряду, що може призвести до втрати енергопостачання. Таким чином досягається баланс між надійністю функціонування та довговічністю акумуляторної батареї. Окрему увагу слід приділити економічному аспекту. Адаптивне зміщення процесів заряджання у періоди знижених тарифів дозволяє зменшити витрати без погіршення технічних характеристик системи. Це робить запропонований підхід доцільним не лише для критичних інфраструктур, але й для побутових та малих комерційних застосувань. Таким чином, запропонована система має високий потенціал практичного застосування у сучасних умовах енергетичної нестабільності та може розглядатися як основа для побудови інтелектуальних систем керування енергоспоживанням.