

УДК 620.9:004.27:621.311.1

ІоТ-ОРІЄНТОВАНА АДАПТИВНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ УЗЕ НА NODE-RED З УРАХУВАННЯМ РДН, СОС І ГРАФІКІВ ВІДКЛЮЧЕНЬ

Дорошенко А.М, Коломієць Д.П.

Національний університет харчових технологій

Розглянуто застосування low-code платформи Node-RED для побудови адаптивної енергетичної системи із інтеграцією установки зберігання енергії (УЗЕ), інтелектуального керування навантаженнями та аналізу цін ринку «на добу наперед» (РДН). Особливу увагу приділено впливу графіків відключень електропостачання в Україні, характеру денних піків споживання та ролі УЗЕ у післяаварійних режимах.

В енергетичній системі з високою часткою ВДЕ є дві критичні проблеми - надлишок генерації у денні години (особливо влітку) та дефіцит у вечірні періоди пікового споживання електроенергії. В Україні, зокрема, яскраво виражені два піки споживання: ранковий - (07:00–11:00) і вечірній (17:00–22:00), який, до речі, завжди вище ранкового. Наразі ситуацію додатково ускладнюють відключення електроенергії за аварійними та плановими графіками. У перші години після відновлення подачі електроенергії велика кількість УЗЕ створює різкий імпульсний попит. Вони намагаються швидко зарядитися до 100% стану заряду на повній потужності, хоча величиною цієї миттєвої потужності можна було б керувати. За таких умов необхідні нові підходи до керування локальними енергетичними системами: адаптивні та цифрові підходи орієнтовані на «ринок доба наперед» та графіки відключення. Наприклад, утворення цифрової системи енергоменеджменту на основі Node-RED оптимізує заряд та розряд УЗЕ на основі цін РДН, адаптує поточне навантаження до доступної генерації, реалізує антиімпульсну логіку - зменшує післяаварійні піки споживання при відновленні електропостачання. Логіка моделюється за концепцією локальної

енергетичної системи S (рис. 1). Кінцева мета - створити адаптивну обчислювальну систему S , яка не тільки виконує задану програму, а може змінювати свою структуру, ваги зв'язків, обчислення, навчатися, реагувати на нові вхідні впливи тощо.

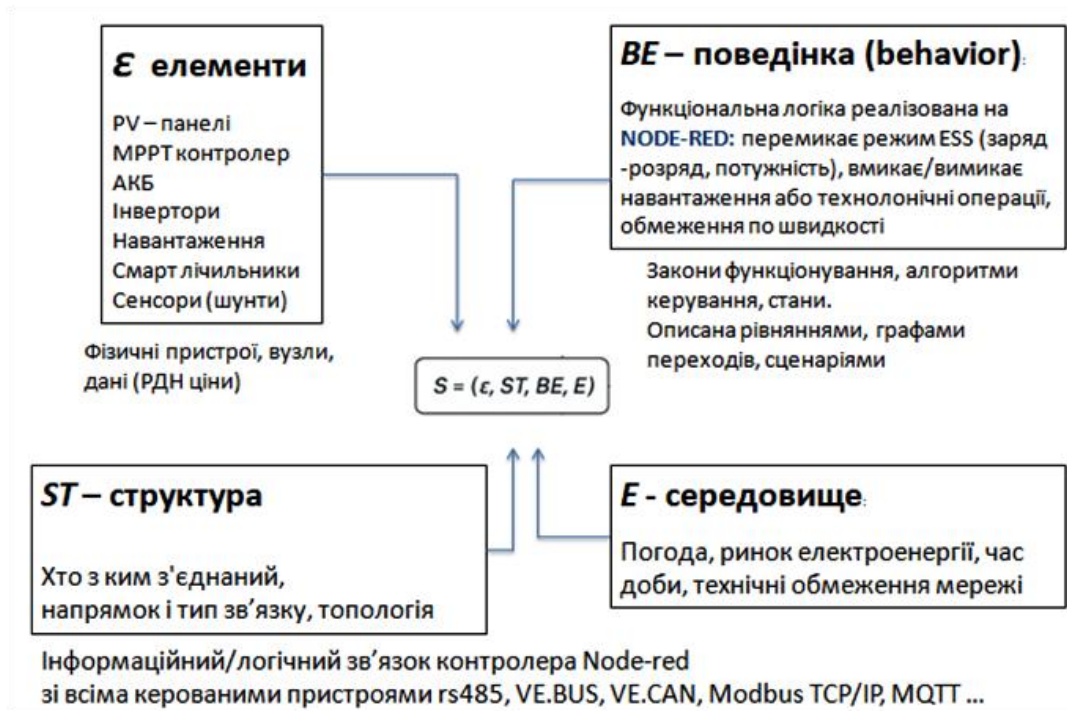


Рисунок 1 – Локальна енергетична система S .

$$S = (F, SC, R, FL, FO, CO, IN)$$

де F — алгоритм оптимізації роботи інвертора; SC — топологія взаємодії між інверторами, акумуляторами і прогнозами; R — оновлення графіка заряд/розряд; FL — система навчається на історичних даних; FO — перебудовує режим роботи залежно від нових умов; CO — змінює пріоритети між споживачами; IN — вхідні дані: прогноз сонця, ціни РДН, SOC, навантаження.

Для отримання даних було використано діючу СЕС у складі: мережевий інвертор Huawei sun2000-30KTL-M3 потужністю 30 кВт, сонячні панелі JASolar 36 шт потужністю по 545 Вт кожна, сумарно 19,6 кВт. Установка зберігання енергії (УЗЕ) на базі гібридного інвертора Victron Energy: RS

48/6000/100 потужністю 5 кВт, три інвертора Quattro 48/10000/140–100/100/230 В по одному інвертору 10 кВт на кожну фазу та АКБ ємністю 70 кВт•год (5 батарей Seplos по 14 кВт•год), контролер Cerbo GX з прошивкою з Venus OS Large (з підтримкою Node-red), смарт-лічильники VM-3P75CT, допоміжне комутаційне обладнання, протоколи Modbus TCP, MQTT, VE.Bus, VE.Can, інтернет-зв'язок з АРІ РДН, прогнозами погоди та телеметрією.

Система розумний енергоменеджмент (рис. 2) встановлює нові правила або пріоритети взаємодії між інвертором, акумулятором і навантаженням на основі історії, цін, погодних умов. Вони з самого початку були закладені в Адаптивній емерджентній логіці.. За допомогою Node-RED реалізовано автоматичне щоденне отримання цін РДН із сайту «Оператора ринку» (<https://www.oree.com.ua>) Реалізовано також повторний запит у разі помилки завантаження даних.

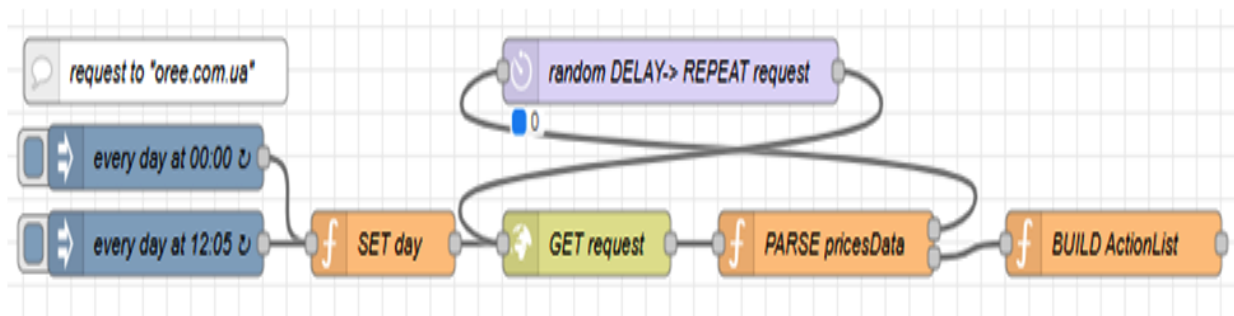


Рисунок 2 – Алгоритм автоматичне отримання цін РДН від «Оператора ринку»

Запропоновано наступні методи оптимізації:

1. Оптимізація заряд/розряд. Мета - мінімізація вартості накопиченої енергії та її доступність при відключенні мережі. Залежно від доступної генерації, поточного споживання та ціни електроенергії у конкретну годину доби система автоматично перемикає режими роботи (рис. 3): заряд АКБ (низька ціна, або середня ціна та SOC низький); транзитне споживання (без

накопичення); живлення від АКБ (при великому SOC, значному накопиченому надлишку або високих цінах).

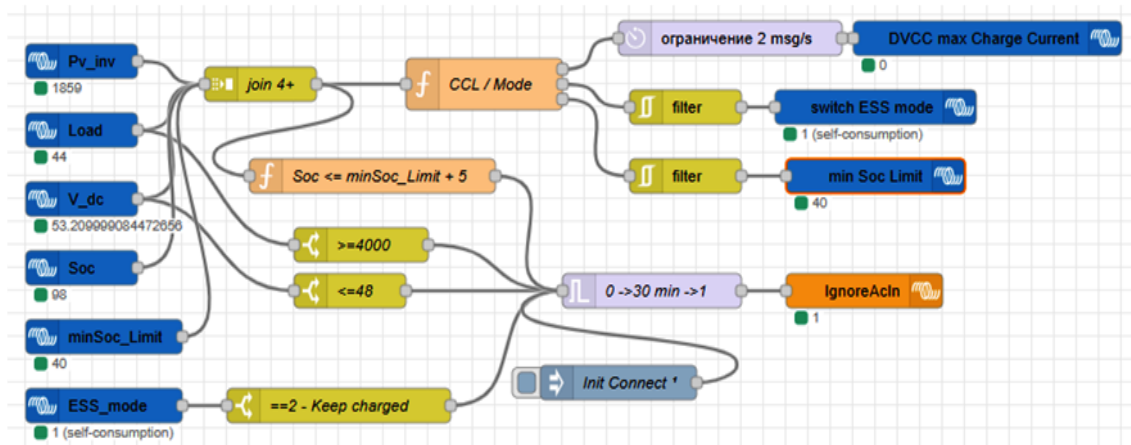


Рисунок 3 – Перемикання режимів УЗЕ (заряджання, транзит, розряд)

Вибір між зарядом і розрядом АКБ визначається не лише ціною, а й рівнем SOC (рис.4).

		<=4000	<=3400	<=2800	<=2200	<=1600	<=1000	
0 %	20 %	40 %	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %	100 %

Рисунок 4 – Алгоритм заряджання АКБ в залежності від поточного SOC та ціни РДН.

Це аналогічно принципу роботи торговця: якщо запас товару достатній, можна не купувати навіть за низькою ціною, очікуючи ще нижчої. І навпаки - за високого SOC продавати енергію до мережі вигідно не лише в пікові години, а й за середніх цін, якщо накопичений надлишок дуже високий. Приклад реалізації показано на рис. 5:

```

33 // Умови, коли self_consumption
34 let self_consumption = 1;
35 // Не заряджаємо, якщо дуже велика ціна, і можна продати
36 if ( (currentPrice > 4000) ||
37      // або ціна більше чим 3400 і у нас батарея більше ніж 50 %
38      ( (currentPrice > 3400) && (input.Soc>50) ) ||
39      ( (currentPrice > 2800) && (input.Soc>60) ) ||
40      ( (currentPrice > 2200) && (input.Soc>70) ) ||
41      ( (currentPrice > 1600) && (input.Soc>80) ) ||
42      ( (currentPrice > 1000) && (input.Soc>90) )
43 ) {
44   return [
45     { payload: 0 },
46     { payload: self_consumption },
47     { payload: minSoc }
48   ];
49 }

```

Рисунок 5 – Фрагмент коду адаптації режимів заряд/розряд-споживання від поточної ціни та рівня SOC

2. Адаптація УЗЕ до графіків зникнення мережі полягає не тільки в зміні minSOC, а в зміні коефіцієнтів проміжних SOC (рис. 4, мітки), і цінових коефіцієнтів, якщо відомо, що електроенергія скоро зникне, або графік відключення припадає на періоди мінімальної ціни РДН. Відповідно більш висока ціна РДН може виявитися мінімальною доступною для режиму заряджання. Варто передбачити доступну ємність для накопичення прогнозованої сонячної генерації, і навіть частину накопиченої електроенергії продати в мережу до вимкнення мережі (рис. 6).

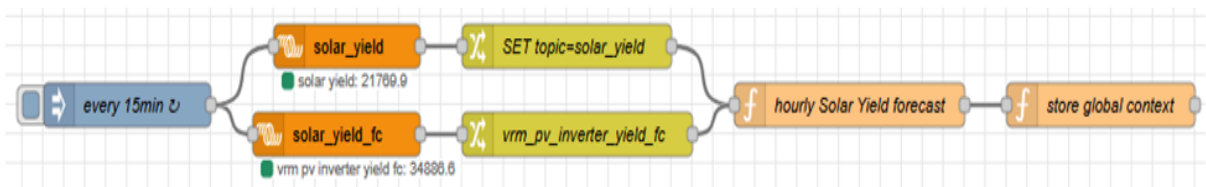


Рисунок 6 – Використання вбудованого в VRM solar yield forecast API.

3. Керування навантаженнями (Demand Response) за допомогою Node-RED дозволяє, наприклад, переносити роботу бойлера на дешеві години та тимчасово вимикати навіть в ці години при короткочасному піковому іншому навантаженні (керування пріорітетами); змінювати потужність зарядки електромобіля; включати/вимикати теплові насоси тощо.

4. Адаптація керування навантаженнями до графіків зникнення мережі. Система повинна вимикати не пріоритетні навантаження в залежності від обсягу запасу ЕЕ (рівня SOC) при зникненні мережі та інше (рис. 7).

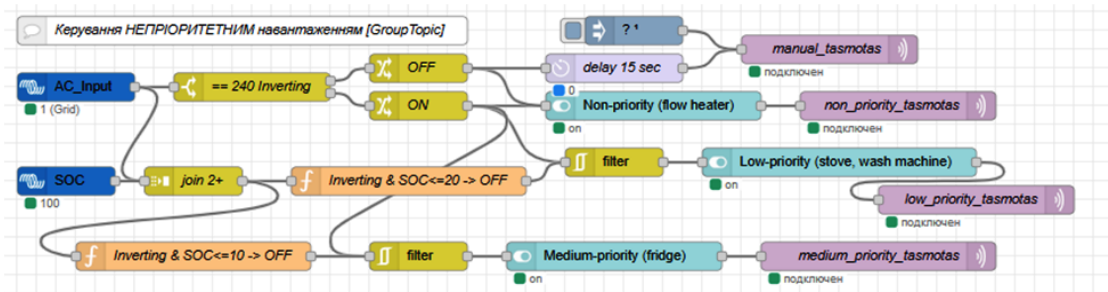


Рисунок 7 – Алгоритм керування навантаженнями різного пріоритету в залежно від режиму живлення (мережа / інвертор) та рівня заряду АКБ через MQTT реле

Навантаження доцільно поділити мінімум на чотири групи: **Non-priority, Low-priority, Medium-priority, Manual On (Auto off)**

5. «Дружній режим зарядки» після появи мережі. У звичайній ситуації: УЗЕ заряджається максимально швидко. Велика кількість таких УЗЕ створює імпульсний пік і, відповідно, провокує повторні перевантаження (рис.8).

Parameters	
Charge Voltage Limit (CVL)	57.80 V
Charge Current Limit (CCL)	500 A
Discharge Current Limit (DCL)	975 A

Рисунок 8– Приклад. Без адаптації наша досліджувана установка почне заряджатися струмом до 500 А при напрузі до 57.8 В при появі мережі.

У запропонованій системі ми обмежуємо заряд від потужності доступної сонячної генерації, а у випадку імпорту - від рівня SOC. Таке обмеження легко зробити через Node-Red ноду «Virtual device» → «Virtual Battery». Немає ніякого сенсу швидко заряджати батарею, коли мережа буде доступна ще дуже довго, краще це зробити рівномірно на прогнозованому проміжку доступності згідно графіків відключень. Це зменшить імпульсні піки в момент відновлення мережі.