

## УДК 621.331.3

К. Б. СУЩЕНКО – Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені акад. В. Лазаряна, sushenko.kostya@i.ua

О. М. ПОЛЯХ – Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені акад. В. Лазаряна, Polyah1956i.ua, ORCID: 0000-0002-1889-0457

# ОПТИМІЗАЦІЯ СПОЖИВАНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ НЕТРАДИЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ

## Вступ

Незворотне виснаження світових вуглеводневих запасів, зростаюча ціна на енергоносії, проблеми екологічного забруднення навколишнього середовища змушують більшість розвинених країн формувати свої енергетичні стратегії, спрямовані на розвиток альтернативної енергетики. За даними Міжнародного енергетичного агентства, до 2030 року частка електроенергії, видобутої за допомогою альтернативних джерел, збільшиться вдвічі порівняно із сьогоднішніми показниками, які становлять близько 16 % усього виробництва. У більшості розвинених країн, зокрема в США, Німеччині, Іспанії, Швеції, Данії, Японії, планують довести частку відновлюваних джерел енергії в загальному енергобалансі до 20...50 %. Європейська комісія вважає, що у 2020 році в Європі п'ята частина енергії вироблятиметься з екологічно безпечних джерел [1].

Головним завданням залізничного транспорту є якісне й ефективне задоволення потреб народного господарства та пасажирів у перевезеннях. Зростаючі вимоги до комфортабельності вимагають від їхніх виробників постійного поліпшення систем електроживлення [2].

На сьогоднішній день традиційні джерела енергії не задовольняють зростаючі потреби залізниці, тому що тарифи на електроенергію постійно зростають. Українська залізниця є однією з країн Європи по споживанню електроенергії. Постійно створюються програми над впровадження енергозберігаючих технологій. Головною метою є економія енергетичних ресурсів, ско-

рочення необхідних інвестицій у паливно-енергетичний комплекс, а також зниження шкідливої дії енергетичного виробництва на навколишнє середовище. По результатах впровадження заходів програми енергозбереження на залізничному транспорті України наприклад за 2006–2010 роки було зекономлено 297 тис. тон палива, із них 380 млн. кВт·год. Електроенергії, 94,2 тис. тон дизельного палива, 9,7 млн. м<sup>3</sup> природного газу, 22,6 тис. тон вугілля, 3 тис. тон мазуту та 16,6 тис. Гкал теплової енергії. Тому оптимізація споживаної електроенергії при застосуванні нетрадиційних джерел живлення є актуальною темою на сьогоднішній день.

Слід зазначити, що в галузі залізничного транспорту України впроваджують інноваційні енергозберігаючі технології з використанням альтернативних відновних джерел енергії, що є частиною комплексної програми з енергозбереження Укрзалізниці.

## Мета

Метою роботи є розробка оптимізації споживаної електроенергії при застосуванні нетрадиційних джерел живлення та формування збалансованого зв'язку «потреби енергії – пропозиція енергії» в залежності з витратами.

## Основні матеріали дослідження

Аналіз можливості впровадження альтернативної енергетики ми розглянемо по двом напрямкам розвитку: перший – це використання енергії для споживачів власних потреб (напрям), другий – живлення сис-

теми тягового навантаження та районних споживачів з видачею генерованої електричної енергії в Єдину енергетичну систему.

Аналіз джерел альтернативної енергії та експертів показав, що світовий ринок сонячних елементів щорічно збільшується понад 30 %.

Для України серед різних видів альтернативної енергетики значний інтерес з економічної, екологічної та енергетичної точок зору становить сонячна енергетика, оскільки:

– капітальні вклади здійснюються тільки один раз, затрати при експлуатації мінімальні, із кожним роком вартість однієї кіловат-години знижується, джерело енергії невичерпне;

– експлуатація фотоелектричних елементів виключає забруднення навколишнього середовища й дозволяє отримувати енергію в будь-якому місці.

На рис. 1 представлена діаграма залежність номінальної потужності сонячних панелей від сонячної опроміненні при умові, що температура на поверхні панелі становить 25°C [3].

Потужність сонячної панелі, знаходиться за формулою:

$$P_{\text{сон.}} = \begin{cases} P_{\text{ст}} \frac{G_{\text{cu}}}{G_{\text{ст}}} \times \\ \times (1 + \alpha(T_{\text{сп}} - T_{\text{су}})), & G_{\text{cu}} \geq C \\ 0, & G_{\text{cu}} \leq C \end{cases}$$

де  $P_{\text{сон.}}$  – потужність, що виробляється сонячною панеллю (Вт);  $P_{\text{ст}}$  – потужність сонячної панелі в стандартних умовах, тобто потужність сонячної радіації 1000 Вт/м<sup>2</sup>, температура елементів – 25°C [4];  $G_{\text{cu}}$  – коефіцієнт сонячного випромінювання (лк);  $G_{\text{ст}}$  – коефіцієнт сонячного випромінювання в стандартних умовах;  $\alpha$  – температурний коефіцієнт (С);  $T_{\text{сп}}$  – температура поверхні сонячної панелі (°С);  $T_{\text{су}}$  – встановлюється рівною 25°C (температура – в стандартних умовах);  $C$  – коефіцієнт виробництва енергії, який залежить від характеристики сонячної панелі (безрозмірний).

Другим видом відновлюваної енергетики вважається вітрова. При високих цін на паливо вітрогенератори є конкурентноздатними по вартості і можуть брати участь у задоволенні енергетичних потреб. До їх переваг можна віднести: екологічність, повна автоматизація, відсутності чергового персоналу, простота роботи, сучасні ВЕС мають коефіцієнт використання встановленої потужності в межах 25...35 %. Але основним недоліком їх є неможливість встановлення в населеному пункті [4].

В роботі досліджено перспективи застосування альтернативної енергетики на дистанції електропостачання.

Вони мають два основні способи використання альтернативної енергії:

- безпосереднє перетворення в електричну енергію за допомогою сонячних фотоелектричних модулів та вітрогенераторів;
- перетворення альтернативної енергії в теплову енергію.

Дослідження показало, що основною проблемою розвитку фотоенергетики є висока вартість електроенергії, однак найближчими роками прогнозується зростання виробництва сонячних батарей завдяки збільшенню їхнього ККД та вдосконаленню технологій виготовлення. Другий спосіб, сонячне тепlopостачання, показав, що річний виробіток теплової енергії досягає 500...600 кВт·год/м<sup>2</sup>.

Аналіз сонячної активності над містом Дніпро протягом року наведений на рис. 2.

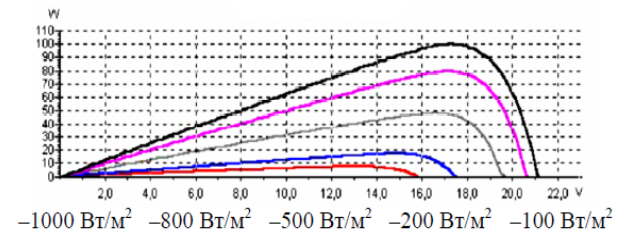


Рис. 1. Залежність номінальної потужності сонячних панелей від сонячної опроміненні

На графіку видно, що ефективно використання сонячних батарей може здійснюватися з березня до жовтня, тобто 8 місяців.

Це свідчить про досить високий потенціал в даному регіоні (1330 кВт·год/м<sup>2</sup>). Що є набагато вищим, ніж, наприклад, у Німеччині – 1000 кВт·год/м<sup>2</sup> або в Польщі – 1080 кВт·год/м<sup>2</sup>, тобто свідчить про гарні можливості для ефективного використання теплоенергетичного обладнання на території регіону. Термін «ефективне використання» означає, що установка може працювати з віддачею 50 % і більше, а це 8 місяців на території області (із березня по жовтня). Узимку ефективність роботи зменшується, але не зникає. Ці дані необхідні для створення моделі оптимізації споживаної електроенергії.

Середньорічна кількість сумарної сонячної радіації, що надходить на 1 м<sup>2</sup> поверхні на території дистанції електропостачання, знаходиться в межах від 1250...1350 кВт·год/м<sup>2</sup>. Технічні характеристики сонячних батарей відрізняються в різних моделей, різних виробників, але з досить невеликою розбіжністю. При площі сонячної батареї приблизно 0,2 м<sup>2</sup> потужність модуля становить приблизно 10 Вт.[5]

Альтернативні джерела генерування електричної енергії великої потужності мають один суттєвий недолік, вони не призначені для автономної роботи через недоцільність використання великої кількості накопичувачів пристроїв і їх дороговизну. Тому, як тільки вимикається лінія електропередачі, що зв'язує електростанцію з енергосистемою, зупиняється і генерація електричної енергії на ній. Тому слід забезпечувати надійний зв'язок з енергосистемою шляхом резервування[5].

Вироблену енергію можливо направити на резервування не тільки на акумуляторні батареї, які є важливим елементом системи. Резервувати можливо й теплову енергію, яка в разі потреби буде використана замість використання додаткової електричної.

Але для управління всіма системи накопичення енергії потрібен розумний аналізатор, який буде аналізувати стан навколишнього середовища, власні потреби на да-

ний момент та кількість вже накопиченої енергії й направляти електроенергію, що виробляється куди потрібно. Приклад цієї системи з аналізатором представлено на рис. 3.

Аналізатор пов'язаний з усіма елементами мережі, та аналізує їх стан та режими роботи. Датчики постійно контролюють кількість генерованої енергії, кількість потрібної енергії споживачам та стан резервних джерел. Головною метою аналізатора є забезпечення безперебійного живлення споживачів. Для цього в залежності від кількості потрібної електроенергії, він змінює режим роботи джерел енергії чи перемикає на резервні. Під час контролю також враховується стан погодних умов, дивлячись на які формується вибір режиму роботи.

Для більш ефективного управління застосовуються системи прогнозування стану погоди на найближчий проміжок часу.

Систем прогнозування погоди, можуть видати прогноз метеорологічних характеристик на кілька діб вперед для заданої місцевості.

Дані, отримані з системи прогнозування, обробляються на персональному комп'ютері, і відповідно до алгоритма управління, який теж реалізується на ПК, керуючі команди відправляються на контролера. Схема роботи системи зображена на рис. 4.

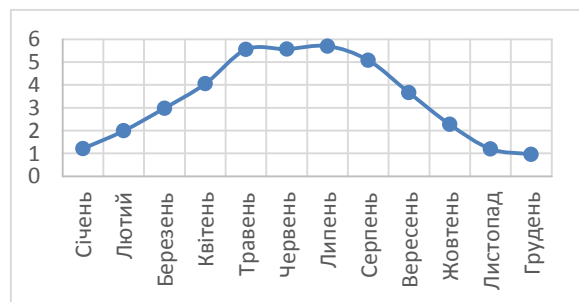


Рис. 2. Графік сонячної інсоляції в м. Дніпро протягом року

#### Порядок роботи системи

1. Отримання і обробка даних з сервера прогнозування погоди. Як вже зазначалося вище, на сьогоднішній день існує більше десятка подібних сервісів. Більшість з

них оновлюють свій прогноз двічі на добу, збираючи дані з метеостанцій. Відправляючи запит з назвою населеного пункту або його координатами, можна отримати від сервера дані в форматі xml, що зручно для подальшої обробки значень.

2. Обробка отриманих даних.
3. Обчислення коригувальних коефіцієнтів. При обчисленні коректуючих кое-

фіцієнтів враховується поточний ККД установок і вираховується прогнозований ККД, що в результаті дозволяє вибрати правильний режим роботи системи.

4. Вибір керуючого впливу з урахуванням корекції і прогнозу погоди.
5. Збір статистичних даних [6].

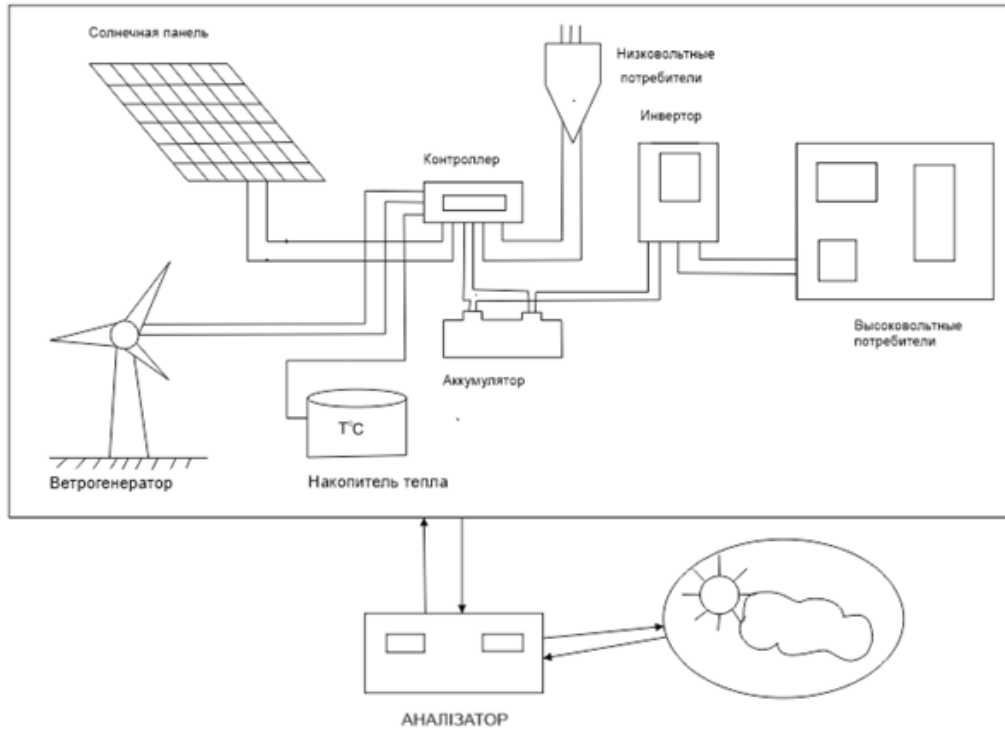


Рис. 3. Схема підключення джерел альтернативної енергії з використанням аналізатора

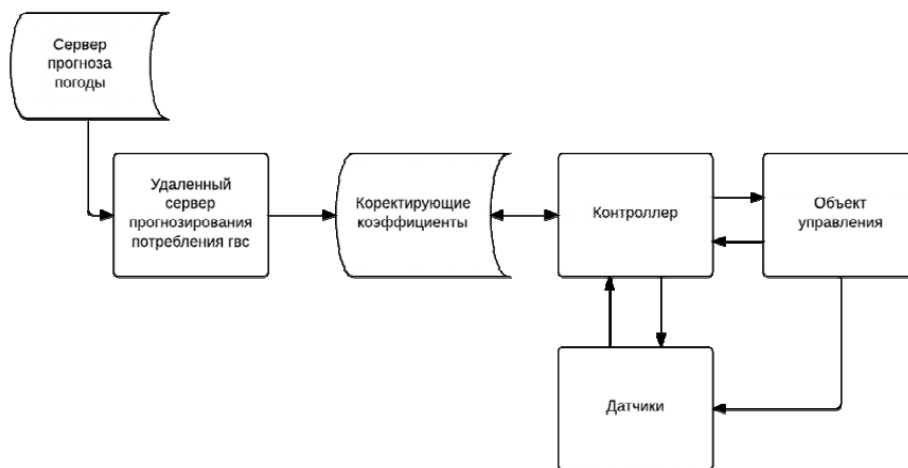


Рис. 4. Структурна схема системи управління комплексом альтернативних джерел енергії з прогнозуванням стану погодних умов

Об'єднавши таку систему прогнозування погоди з розумними системами електропостачання Smart Grid, ми отримуємо систему, яка здатна самостійно керувати комплексом альтернативних джерел енергії враховуючи погодні умови місцевості.

В роботі для формування прогнозу застосовуються нейронні мережі. Оцінка якості прогнозування виконується з використанням середньої абсолютної помилки і середнє відхилення. Функція втрат (цільова функція)  $J$  визначається за формулою:

$$J = \sum_{f=1}^{24} k_i \cdot (p_i^{\text{спож.}} - p_i^{\text{вир.}}) + \sum_{f=1}^{24} (100\% - S_i) \cdot k_i \cdot E_{\text{max}}$$

де  $k_i$  – тарифний план електроенергії в проміжку часу  $i$ , (Грн/кВт год);  $p_i^{\text{спож.}}$  – енергоспоживання в проміжку часу  $[i, i + 1]$ , (кВт·год);  $p_i^{\text{вир.}}$  – енерговиробництво в проміжку часу  $[i, i + 1]$ , (кВт год);  $S_i$  – стан АКБ в момент часу  $i$  (%);  $E_{\text{max}}$  – максимальна електроємність АКБ (кВт год або А год).

Так як мета дослідження полягає у формуванні оптимальної стратегії перемикачів між джерелами енергії, формулу можна переписати з урахуванням «Коефіцієнта стратегії покупки електроенергії»  $str_i$  ( $i=1, \dots, 24$ ), що залежить від поточного тарифного плану електроенергії

$$J = \sum_{i=1}^n \left[ (p_i^{\text{спож.}} - p_i^{\text{вир.}}) + (100\% - S_i) \cdot E_{\text{max}} \right] \cdot k_i \cdot str_i$$

$$str_i = \begin{cases} -1, & \text{При продажі електроенергії} \\ 0, & \text{При використанні власної електроенергії} \\ +1, & \text{При покупці електроенергії} \end{cases}$$

У кожен момент часу система знаходиться в одному з трьох станів: використання власної електроенергії, продаж електроенергії і покупка електроенергії.

Тобто для прогнозування споживання і виробництва електроенергії використовується нейронні мережі.

Структура нейронної мережі показана на рис. 5.

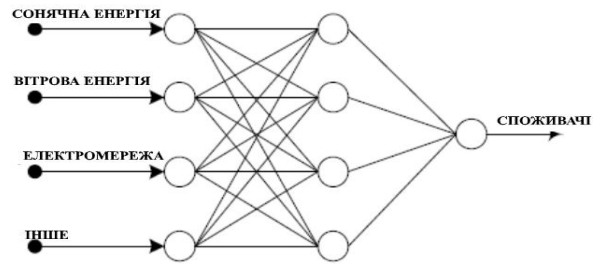


Рис. 5. Структура нейронної мережі для прогнозування аналізу використання та виробництва електроенергії

Таким чином, ми можемо оптимізувати витрати електроенергії за рахунок максимального використання альтернативних джерел енергії [7].

### Висновок

Оптимізація системи електропостачання запропонована на основі нейронної мережі. Яка аналізує і пропонує оптимальний варіант виробництва та використання електроенергії.

Застосування аналізатора в системі дозволяє автоматично визначати оптимальний режим роботи енергосистеми, аналіз погодних умов - вибирати режим роботи більш ефективно.

Стратегія оптимізації полягає також в своєчасному перемикачів між зовнішньою електромережею та джерелами відновлюваної енергії в залежності від стану системи, кількості накопиченої енергії.

В результаті такої оптимізації електромережі скорочено витрати на електроенергію.

### Бібліографічний список

1. Величко, С. А. Енергетика навколишнього середовища України (з електронними картами). Навчально-методичний посібник для магістрантів. Харків: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна. – 2003. – 52 с
2. Возняк, О. Т. Енергетичний потенціал сонячної енергетики та перспективи його використання в Україні – 2010 - №644 – С.7–10
3. Стогній, Б. С., Кириленко О. В., Праховник А. В., Денисюк С. П. Еволюція інтелектуальних електричних мереж та їхні перспек-

тиви в Україні [Текст] / Б. С. Стогній, О. В. Кириленко, А. В. Праховник, С. П. Денисюк // Технічна електродинаміка. – 2012. – № 5. – С. 52–67.

4. Небольшие ветрогенераторы для дома [Електронний ресурс]. Режим доступа: <http://sxem.net/greentech/greentech1.php>.
5. Ветрогенератор [Електронний ресурс]. Режим доступа: <http://vetrodvig.ru>.
6. Закон України. Про внесення змін до деяких законів України щодо встановлення «зеленого» тарифу (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2009, N 13, ст. 155) [Електронний ресурс]. Режим доступа: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/601-17>.
7. Modeling and Optimization of Renewable Energy Systems [Електронний ресурс]. Access mode: <https://www.intechopen.com/books/modeling-and-optimization-of-renewable-energy-systems>.

**Ключові слова:** альтернативні джерела енергії, сонячні панелі, прогноз, оптимізація, нейронна мережа.

**Ключевые слова:** альтернативные источники энергии, солнечные панели, прогноз, оптимизация, нейронная сеть.

**Keywords:** alternative energy sources, solar panels, forecast, optimization, neural network.

**Рецензенти:**

д.т.н., проф. А. М. Муха,  
д.т.н., проф. А. Б. Бойнік.

Надійшла до редколегії 15.11.2017.

Прийнята до друку 27.11.2017.