

УДК 621.311.1

Бойко С.М.

Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету

Шмельов Ю.М.

Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету

Бондарець О.М.

Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету

Борисенко О.М.

Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету

ОСОБЛИВОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ В УМОВАХ КОМПЛЕКСУ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ- ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ЗАЛІЗОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Метою роботи є аналіз особливостей прогнозування електроспоживання в умовах комплексу електропостачання-електроспоживання залізорудних підприємств під час упровадження в умовах цих підприємств відновлюваних джерел енергії. Аналізуючи графіки прогнозу генерації електричної енергії вітроенергетичної установки в умовах залізорудної підприємства та електроспоживання цих підприємств, можна зробити висновок про те, що реалізація короткострокового й оперативного прогнозування значно ускладнюється. За результатами моделювання виявлено, що під час прогнозування електроенергоспоживання залізорудними підприємствами, під час впровадження в систему електропостачання відновлюваних джерел енергії необхідно вирішити багатокритеріальне завдання з використанням методу штучних нейронних мереж.

Ключові слова: електропостачання, прогнозування електроспоживання, відновлювані джерела енергії, електроспоживання, штучні нейронні мережі.

Постановка проблеми. Залізорудні підприємства (далі – ЗРП) України споживають біля 90% електричної енергії (далі – ЕЕ) від загального балансу спожитої енергії цими підприємствами [1].

Що не менш важливо, досвід показує, що, незважаючи на недовантаження електричних потужностей, збитки від аварійних перерв енергозабезпечення з кожним роком зростають. Тому другим незалежним джерелом живлення електроспоживачів можуть бути використані спеціальні агрегати безперебійного живлення та акумуляторні батареї. Одним з альтернативних рішень є використання відновлювальних джерел електричної енергії (далі – ВДЕ), розташовані на території підприємства, з метою електропостачання відповідальних електроприймачів.

Прогнози обсягів споживання електричної енергії використовуються для формування щорічних зведених балансів виробництва і споживання електричної енергії. Баланси виробництва і споживання електричної енергії є основою для формування графіків ремонту устаткування і т.д.

Короткострокові прогнози споживання є основою для формування диспетчерських графіків. Одночасно визначаються необхідні обсяги та розміщення резервів потужності в єдиній енергетичній системі.

Узгоджені графіки споживання і генерації є найважливішими показниками, що визначають основні аспекти роботи – графіки вироблення електроенергії станціями з урахуванням резервів, склад генерувального обладнання, обсяги купівлі та продажу електроенергії й потужності на ринку.

Планування споживання здійснюється на основі прогнозу сумарного показника і кожного компонента, при цьому структура споживання має бути збалансована на кожному етапі й рівні планування. Обсяги вихідних даних і моделі прогнозів для різних компонентів можуть бути різними. Виникає необхідність розробки адаптивної системи моделей прогнозування та планування споживання, застосовної на різних стадіях і ланках планування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як показали результати досліджень, найбільш

ефективним в напрямі впровадження відновлюваних джерел енергії є створення гідроакмулюючих міні- та мікроелектростанцій на базі водовідливів шахт, кар'єрів та збагачувальних комплексів, вітроенергетичних станцій та сонячних електростанцій [1–5].

Відповідно до Закону України «Про ринок електричної енергії» від 13.04.2017, № 2019-VIII, починає діяти ринок купівлі електроенергії «на добу вперед» зі штрафами за неподання прогнозів або за невиконання наданих прогнозів. У Законі відсутні механізми збору та аналізу даних для короткострокового прогнозу генерації відповідно до потреби в електроенергії.

Також слід зазначити, що довгостроковий, короткостроковий і оперативні прогнози споживання електроенергії вимагають різних методик. Для реалізації довгострокових прогнозів потрібні сценарні підходи для оцінки загальноекономічної ситуації, галузевих тенденцій розвитку і т.д. Для короткострокових прогнозів важливим є облік метеофакторів, характеру дня (робочий, вихідний), стану режиму енергосистеми в найближчій ретроспективі. Під час оперативного прогнозування в темпі процесу потрібні адаптивні моделі прогнозу.

Постановка завдання. Аналіз особливостей прогнозування електроспоживання в умовах комплексу електропостачання-електроспоживання ЗРП під час упровадження в умовах цих підприємств ВДЕ.

Виклад основного матеріалу дослідження. Отже, основна проблема прогнозування генерації ВДЕ в умовах ЗРП (порівняно з традиційними джерелами) є достовірність прогнозів споживання енергії ЗРП і власне проблеми короткострокового прогнозування метеоумов «на добу вперед», що фактично впливає на погодинне прогнозування генерації.

Слід зазначити, що ця проблема у світі не вирішена остаточно. Пропонується низка алгоритмів і програмних комплексів, але загальноновизнаних «стандартів галузі» для прогнозування генерації ВДЕ немає.

Фактори, що впливають на ефективність погодинного прогнозу, містять прогнозний горизонт, місцеві погодні умови (що впливають на мінливість ресурсів ВДЕ), географічне охоплення, доступність даних (наприклад, обсяг, місце розташування, способи і надійність надання інформації) та якість даних (наприклад, узгодженість за часом, точність, розбивка і корекція за охопленням території) тощо.

Точність прогнозів ВДЕ збільшується за більш коротких інтервалів часу отримання значень оброблених поточних метеоданих. Наприклад, для погодинного прогнозування в межах помилки до $\pm 5\%$ потрібно мати дані для прогнозування з розбивкою на 15 хв., які мають використовувати для розрахунків мінімум 9 серій поточних даних. Тобто свіжі дані від метеостанцій повинні надходити й оброблятися щохвилини [6].

Згідно з IEA, відхилення RMSE кращих систем «розумного» прогнозування від персистентної моделі (з урахуванням даних багаторічного обліку) становить від 18–35% (Іспанія) до 68–75% (Швейцарія, Бельгія, Нідерланди, Канада, США).

Досить об'ємний звіт «Adapting Market Design to High Shares of Variable Renewable Energy» про проблеми прогнозування і про інші фактори, що перешкоджають широкому співіснуванню ВДЕ і традиційної генерації в енергосистемах різного рівня, опублікований у червні 2017 р [7].

У свою чергу, ЗРП постають як динамічні системи, що розвиваються у часі й просторі, стан яких визначається сукупністю різних гірничо-геологічних і технологічних факторів, що характеризують умови виробництва. Однак урахувати всі чинники під час визначення електроспоживання тим чи іншим окремим механізмом неможливо, оскільки майже кожен із них рідко залишається режимно постійним навіть протягом нетривалого часу, а окремі фактори непередбачувано впливають на цей процес [1].

У результаті аналізу можливості впровадження ВДЕ у складі локальних енергетичних систем (далі – ЛЕС) було виявлено, що ЛЕС на базі ВДЕ, впливають на розподільні мережі в ЛЕС та перетворюють їх на активні елементи. Це призводить до необхідності внесення змін у прийнятті стратегії управління ЛЕС та планування структури і режимів локальних енергетичних систем. При цьому цей вплив може мати як позитивний, так і негативний характер, тому доцільно заздалегідь ґрунтовно досліджувати та аналізувати питання приєднання ВДЕ до ЛЕС залежно від умов експлуатації та особливостей технологічного процесу електроприймачів ЗРП [1–8].

До складу запропонованої системи електропостачання входить таке устаткування: вітрові мініелектростанції (далі – ВМЕС), батарея акумуляторів, що слугує для накопичення електроенергії у роботі ВДЕ для живлення системи її управління (або як резервне джерело живлення (за необхідності)); перетворювальна апаратура, у разі використання генератора змінної напруги, що

служує для перетворення електроенергії від ВДЕ у постійний струм для живлення інвертора й заряду акумуляторних батарей і постійного струму від акумуляторів напруги змінного струму зі стандартними параметрами (рис. 1).

Таким чином, сумарна згенерована потужність ЛЕС на базі ВДЕ визначається з виразу:

$$S_{\Sigma DES} = \sum_{i=1}^n S_{VES_i} + \sum_{i=1}^n S_{SES_i} + \sum_{i=1}^n S_{GES_i} \quad (1)$$

де S_{VES} – згенерована потужність ВЕС; S_{SES} – згенерована потужність СЕС; S_{GES} – згенерована потужність ГЕС.

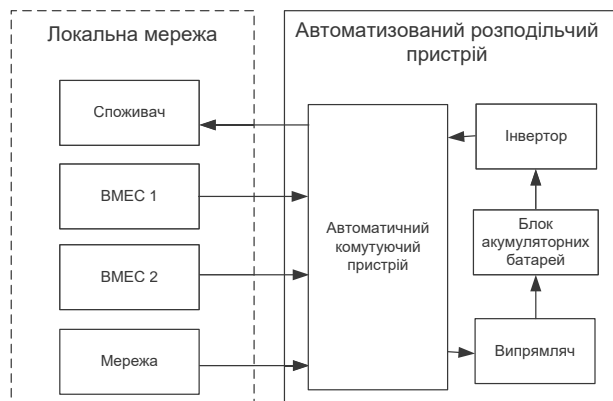


Рис. 1 Структурна схема системи локальної електропостачання на базі відновлювальних джерел електроенергії

Тоді спожита підприємством потужність за умови використання ЛЕС на базі ВДЕ в системі електропостачання дорівнює:

$$S_{PP} = S_{PS} + \left(\sum_{i=1}^n S_{VES_i} + \sum_{i=1}^n S_{SES_i} + \sum_{i=1}^n S_{GES_i} \right) \quad (2)$$

де S_{PS} – спожита електрична енергія промислового підприємства з енергосистеми.

Зважаючи на той факт, що система електропостачання комбінована, то це ускладнює процес прогнозування електроспоживання, оскільки із загальною спожитою електричною енергією (далі – ЕЕ) необхідно віднімати згенеровану ЕЕ ЛЕС. Аналізуючи графіки прогнозу генерації електричної енергії вітроенергетичної установки в умовах залізорудної підприємства та електроспоживання цих підприємств, можна зробити висновок про те, що реалізація короткострокового й оперативного (добового) прогнозування значно ускладнюється (рис. 2–5).

Натепер розроблено велику кількість методів прогнозування електроспоживання, проте не існує універсального методу, який міг би з однаковим успіхом застосовуватися для різних типів об'єктів. Це викликано тим, що будь-який об'єкт прогнозування, регіональна енергосистема або конкретне промислове підприємство має уні-

кальний характер електроспоживання і складні залежності між електроспоживанням і факторами, що на нього впливають. Тому виникає завдання вибору методики прогнозування електроспоживання, що володіє задовільною якістю прогнозу.

Сезонна модель авторегресійного проінтегрованого змінного середнього (далі – АРІЗС) (ARIMA), розроблена Дж. Боксом і Г. Дженкінсом, дозволяє прогнозувати нестационарні циклічні тимчасові ряди. Сезонна модель Бокса-Дженкінса може бути представлена у вигляді:

$$ARIMA(p, d, q) \cdot (P_s, D_s, Q_s) s \quad (3)$$

де p – порядок складника авторегресії; d – порядок різниці дискретної похідної; q – порядок змінного середнього; P_s – порядок сезонної авторегресії; D_s – порядок сезонної різниці (сезонної похідної); Q_s – порядок сезонного змінного середнього; s – період сезонності [5-7].

Результат прогнозування електроспоживання на добу цеху ЗРП зображено на рис. 2.

Проте метод експоненціального згладжування найбільш ефективний під час розроблення середньострокових прогнозів. Він прийнятний у прогнозуванні тільки на один період вперед. Його основні переваги простота процедури обчислень і можливість обліку ваги вихідної інформації. Робоча формула методу експоненціального згладжування:

$$S_t = a \cdot \gamma_t + (1 - a) \cdot S_{t+1} \quad (4)$$

де t – період, що передуює прогнозованому; $t+1$ – прогнозний період; S_{t+1} – прогнозований показник; a – параметр згладжування; γ_t – фактичне значення досліджуваного показника за період, що передуює прогнозованому; S_t – експоненціально зважена середня для періоду, що передуює прогнозованому [5–7].

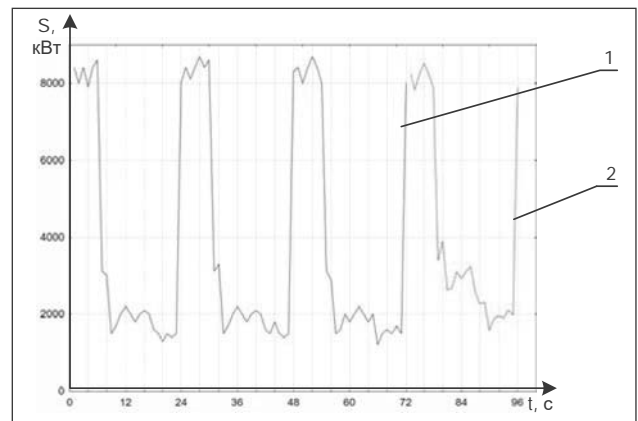


Рис. 2. Почасовий прогноз електроспоживання на добу цеху залізорудного підприємства за методом АРІЗС (1 – факт, 2 – прогноз)

Результат прогнозування електроспоживання на добу цеху ЗРП зображено на рис. 3.

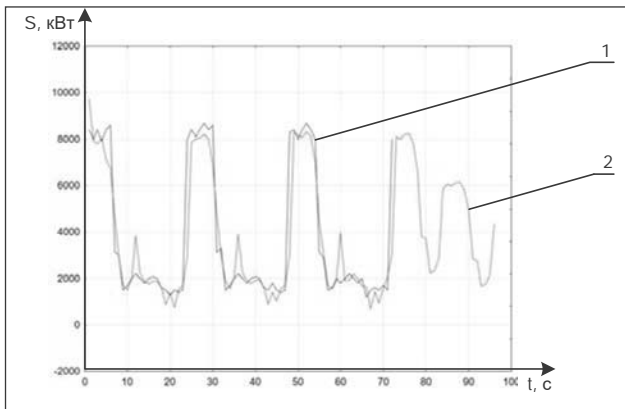


Рис. 3. Почасовий прогноз електроспоживання на добу цеху залізрудного підприємства за методом експоненціального згладжування (1 – факт, 2 – прогноз)

Із поміж інших, прогноз за допомогою штучних нейронних мереж (із математичної точки зору) є найбільш функціональним.

Вхідний шар нейронів слугує для введення значень вхідних змінних, вихідний шар – для виведення результатів.

Побудова цього прогнозу реалізована у пакеті «St Neural Networks» (рис. 4).

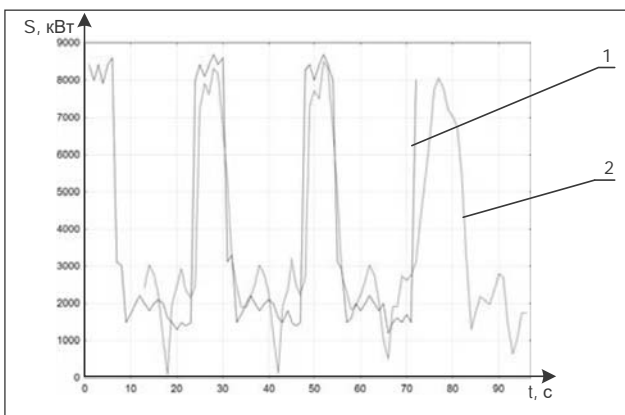


Рис. 4. Почасовий прогноз електроспоживання на добу цеху залізрудного підприємства з використанням штучних нейронних мереж (1 – факт, 2 – прогноз)

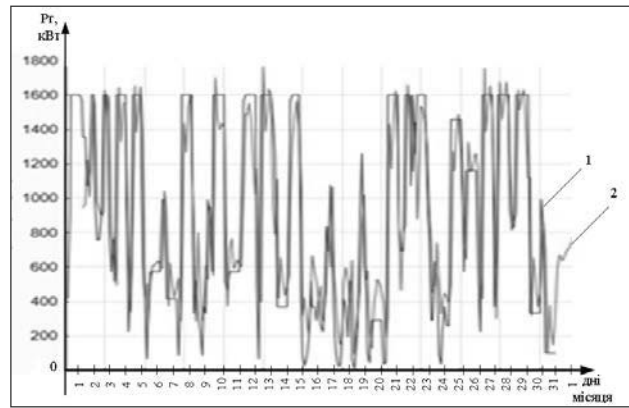


Рис. 5. Графік прогнозу генерації електричної енергії вітроенергетичної установки в умовах залізрудної підприємства з використанням штучних нейронних мереж (1 – факт, 2 – прогноз)

Отже, аналізуючи дослідження різних методів прогнозування, було встановлено, що методи відрізняються швидкістю обчислень, похибкою отриманого прогнозу, кількістю необхідних даних для точного прогнозування та ін.

Проте перевагу слід надавати штучним нейронним мережам, оскільки головним їх перевагою є те, що вони можуть апроксимувати будь-яку нелінійну функцію з довідповідним ступенем точності, мають здатність до адаптації, створення асоціативних зв'язків і навчання; вони також застосовуються за короткострокового і довгострокового прогнозування [5–8].

Висновки. В умовах залізрудних підприємств актуальним та можливим є впровадження в загальну структуру систем електроживлення локальних систем на базі відновлюваних джерел енергії.

Для прогнозування електроенергоспоживання залізрудними підприємствами під час упровадження в систему електропостачання відновлюваних джерел енергії необхідно вирішити багатокритеріальне завдання з використанням методу штучних нейронних мереж.

Список літератури:

1. Комплекс ресурсо- і енергозберігаючих геотехнологій видобутку та переробки мінеральної сировини, технічних засобів їх моніторингу із системою управління і оптимізації гірничорудних виробництв / А.А. Азарян, Ю.Г. Вілкул та інші. Кривий Ріг: Мінерал, 2006. 219 с.
2. Сінчук О.М., Сінчук І.О., Бойко С.М., Караманиць Ф. І., Ялова О.М., Пархоменко Р.О. Відновлювані джерела електричної енергії в структурах систем електропостачання залізрудних підприємств. (Аналіз, перспективи, проекти): монографія. Кривий Ріг: Видавництво ПП Щербатих О.В., 2017. 152 с.
3. Sinchyk, O., Sinchyk, I., Boiko, S. Control system power consumption of the mining enterprises with the purpose of increasing electroenergoinvest. Technical Electrodynamics 2016, № 6, P. 60–62.
4. S. Tabatabaee. Investigation of droop characteristics and X/R ratio on small-signal stability of autonomous microgrid / H.R. Karshenas, A. Bakhshai and P. Jain // Proc. 2nd Power Electron., Drive Syst. Technol. Conf. 2011. P. 223–228.

5. Shumilova G.P., Gotman N.E., Startceva T.B. Electrical load forecasting using an artificial intelligent methods // RNSPE, 10–14 September, 2001, Proceedings. Kazan: Kazan State Power Eng. University, 2001. Vol. I. P. 440–442.
6. Baumann T., Germond A. Application of the Kohonen Network to Short-Term Load Forecasting. IEEE 0-7803-1217-1. 1993. P. 407–412.
7. Carpenter G., Grossberg S. A Massively Parallel Architecture for a Self-Organizing Neural Pattern Recognition Machine // Computer Vision, Graphics and Image Processing. 1987. Vol. 37.
8. Chen S.T., David C.Y., Moghaddamjo A.R. Weather sensitive short-term load forecasting using non fully connected artificial neural network // IEEE Trans. on Power Systems. 1992. Vol. 7, No 3. P. 1098–1105.

ОСОБЕННОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ КОМПЛЕКСА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ-ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Целью работы является анализ особенностей прогнозирования электропотребления в условиях комплекса электроснабжения- электропотребления железорудных предприятий при внедрении в условиях этих предприятий возобновляемых источников энергии. Анализируя графики прогноза генерации электрической энергии ветроэнергетической установкой в условиях железорудного предприятия и электропотребления этих предприятий, можно сделать вывод о том, что реализация краткосрочного и оперативного прогнозирования значительно усложняется. По результатам моделирования установлено, что при прогнозировании электропотребления железорудными предприятиями, при внедрении в систему их электроснабжения возобновляемых источников энергии, необходимо решить многокритериальную задачу с использованием метода искусственных нейронных сетей.

Ключевые слова: электроснабжение, прогнозирование электропотребления, альтернативные источники энергии, электропотребления, искусственные нейронные сети.

PECULIARITIES OF FORECASTING TO THE CONDITIONS OF ELECTRIC SUPPLY COMPLEX-ELECTRIC CONSUMPTION OF IRON-SIZED ENTERPRISES

The purpose of this work is to analyze the peculiarities of forecasting electricity consumption in the conditions of a complex of electricity supply-electric consumption of iron ore subsidiaries in the implementation of renewable energy sources in these enterprises. By analyzing the forecasts of the wind power generation power generation forecast in the iron ore plant and the electricity consumption of these enterprises, it can be concluded that the implementation of short-term and operational forecasting is much more complicated. According to the results of the simulation, it has been found that in forecasting the electricity consumption of iron ore enterprises, when introducing renewable energy sources into their system, it is necessary to solve a multicriterion problem using the method of artificial neural networks.

Key words: electric power supply, forecasting of power consumption, alternative energy sources, power consumption, artificial neural networks.