

В. К. ТИТЮК, д-р техн. наук, проф., В. Д. БАРАНОВСЬКИЙ, д-р філос. наук, ст. викл.,
І. Ю. КОВАЛЕНКО, магістрант, Криворізький національний університет

ПРОГНОЗУВАННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Проблема прогнозування споживання електроенергії залишається актуальною, особливо для енергоємних промислових підприємств з нерівномірним навантаженням, таких як гірничо-збагачувальні комплекси. Традиційні методи оцінки енергоспоживання не завжди враховують динамічні зміни в структурі навантаження, включно із сезонними коливаннями, технологічними особливостями та оперативними факторами.

Прогнозування енергоспоживання великими промисловими підприємствами має низку ключових особливостей. Складна структура обладнання та вплив стохастичних факторів на технологічний процес спричиняють різкі пікові зміни в енергоспоживанні. Для підприємств, що працюють в умовах багатозонних тарифів, характерне формування добових періодичних коливань навантаження. Дослідження показують, що точне прогнозування активної та реактивної потужності сприяє ефективнішому управлінню ресурсами та підвищує інтеграцію відновлюваних джерел енергії в енергосистему [1].

Методи прогнозування часових рядів можна умовно розділити на статистичні та адаптивні. Вибір підходу залежить від безлічі чинників, включно з доступністю та актуальністю історичних даних, необхідною точністю прогнозу, часовим горизонтом (короткостроковим, середньостроковим або довгостроковим), а також економічною доцільністю та часовими витратами на аналіз.

Аналіз сучасних наукових досліджень підтверджує, що використання нейронних мереж для прогнозування активної потужності демонструє кращі результати порівняно з традиційними моделями. Це зумовлено їхньою здатністю обробляти тимчасові ряди та виявляти складні закономірності в енергоспоживанні [2]. Точність навчання і прогнозування ANN оцінюється за допомогою середньоквадратичної помилки (MSE) на відповідних інтервалах вихідних даних. Найточніші результати на етапі навчання показує алгоритм Bayesian Regularization (BR), проте його швидкість роботи поступається алгоритмам Levenberg-Marquardt (LMA) і Scaled Conjugate Gradient (SCG) [3].

Як експериментальні дані в дослідженні використано відомості про споживання активної потужності на цеховій і головній знижувальній підстанціях одного з гірничодобувних підприємств у м. Кривий Ріг, Україна. Дані збирали протягом місяця з часовим кроком 30 хвилин.

Для прогнозування енергоспоживання запропоновано використовувати штучну нейронну мережу архітектури Nonlinear Auto-Regressive (NAR) з конфігураціями від NAR (10,3) до NAR(15,8). Дані були розділені у співвідношенні 80 % : 10 % : 10 % на навчання, тестування та валідацію відповідно з використанням Levenberg-Marquardt algorithm. Прогнозування здійснювалося на інтервалі від 20 до 30 днів, що дало змогу передбачити енергоспоживання на найближчі 24–48 годин із похибкою 2–4% для активної потужності.

Результати продемонстрували високу предиктивну здатність запропонованої моделі. Показано принципову можливість використання нейронних мереж NAR для короткострокового та середньострокового прогнозування енергоспоживання із задовільною точністю.

Перспективним напрямом подальших досліджень є розширення порівняльного аналізу різних архітектур штучних нейронних мереж, що дасть змогу обрати найефективнішу модель для короткострокового та середньострокового прогнозування енергоспоживання з урахуванням специфіки досліджуваного об'єкта.

Список літератури

1. Segovia E., Vukovic V., Bragatto T. Comparison of Baseline Load Forecasting Methodologies for Active and Reactive Power Demand, *Energies* 2021, 14(22):7533. <https://doi.org/10.3390/en14227533>.
2. Cho H., Goude Y., Brossat X., Yao Q. Modeling and forecasting daily electricity load curves: A hybrid approach. *J. Am. Stat. Assoc.* 2013, 108, 7–21. <https://doi.org/10.1080/01621459.2012.722900>
3. Arvanitidis A.I., Bargiotas D., Daskalopulu A., Laitos V.M., Tsoukalas L.H. Enhanced Short-Term Load Forecasting Using Artificial Neural Networks. *Energies* 2021, 14, 7788. <https://doi.org/10.3390/en14227788>