

УДК 621.311.4.031

DOI: 10.25140/2411-5363-2019-2(16)-118-128

*Сергій Бойко, Андрій Некрасов, Олексій Городній, Оксана Борисенко, Євген Кас'янов***ОСОБЛИВОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАЛІЗОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВ ПРИ ВПРОВАДЖЕННІ РОЗОСЕРЕДЖЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ**

**Актуальність теми дослідження.** Україна має потужні ресурси розосередженої генерації. При цьому, одним із чотирьох заходів, запропонованих Міжнародною енергетичною агенцією для підвищення енергоефективності в країнах світу, є збільшення використання джерел відновлювальної енергії в загальному обсязі виробництва електричної енергії, у тому числі не остання роль приділяється впровадженню розосередженої генерації.

**Постановка проблеми.** Наслідок природного зниження рівнів видобутку залізорудної сировини на теренах нашої країни на глибини понад 1000–1500 м, тобто в бік запроєктованих показників, вже сьогодні підвищує енергоємність її видобутку та зниження конкурентної спроможності на світовому ринку. Таким чином, актуальною науково-практичною задачею є дослідження особливостей функціонування систем електропостачання залізорудних підприємств при використанні джерел розосередженої генерації у складі їх розподільчих мереж.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В ряді попередніх досліджень автори обґрунтовують позитивний ефект від впровадження розосередженої генерації в структуру систем електропостачання підприємств.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Раніше було запропоновано встановлення енергетичних установок на спряженні квершлагів, на відвалах кар'єрів та інших можливих місцях установки в умовах залізорудних підприємств. Однак поки що остаточно не визначено принципи впровадження інтелектуальних систем управління електропостачанням зазначених підприємств, що особливо важливо при реконфігурації цих систем.

**Постановка завдання.** Метою цієї роботи є синтез особливостей електропостачання залізорудних підприємств за умови впровадження до системи їх електропостачання джерел розосередженої генерації та аналіз специфіки їх функціонування.

**Виклад основного матеріалу.** Запропоновано застосування штучних нейронних мереж в системах управління та визначення електроенергетичних параметрів систем електропостачання залізорудних підприємств, що дозволить забезпечити багатофакторне управління та аналіз енергетичних параметрів при впровадженні джерел розосередженої генерації. Запропоновано підхід щодо впровадження штучних нейронних мереж для моделювання надійності системи електропостачання залізорудних підприємств при впровадженні розосередженої генерації, що дозволить покращити прогнозованість згенерованої електроенергії розосередженою генерацією в часі.

**Висновки відповідно до статті.** Представлена за допомогою штучних нейронних мереж модель надійності системи електропостачання залізорудних підприємств при впровадженні розосередженої генерації дозволить покращити прогнозованість згенерованої електроенергії розосередженою генерацією в часі.

**Ключові слова:** розосереджена генерація; електропостачання підприємств; штучні нейронні мережі.

Рис.: 5. Бібл.: 16.

**Актуальність теми дослідження.** Україна має потужні ресурси розосередженої генерації (РГ) [1]. При цьому, одним із чотирьох заходів, запропонованих Міжнародною енергетичною агенцією для підвищення енергоефективності в країнах світу, є збільшення використання джерел відновлювальної енергії в загальному обсязі виробництва електричної енергії, у тому числі не остання роль приділяється впровадженню РГ [1]. Актуальними ці питання є як для діючих так і для тимчасово законсервованих горизонтів шахт та вже не діючих кар'єрів. Останні, як правило, відключені від централізованого електропостачання підстанцій. Джерела РГ, встановлені в умовах залізорудних підприємств (ЗРП), здатні забезпечувати додаткове резервне електропостачання мережі [6].

**Постановка проблеми.** Між тим, наслідок природного зниження рівнів видобутку залізорудної сировини (ЗРС) на теренах нашої країни, на глибини понад 1000–1500 м, тобто в бік запроєктованих показників, вже сьогодні підвищує енергоємність її видобутку та зниження конкурентної спроможності на світовому ринку [2]. Однак, враховуючи специфіку видобутку ЗРС на ЗРП, у тому числі вітчизняних, та кліматичні умови їх розташування існує можливість впровадження в структуру їх електропостачання РГ.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У попередніх дослідженнях автори обґрунтовують позитивний ефект від впровадження РГ у структуру систем електропостачання підприємств [1].

Ці об'єкти, а це в масштабах України сотні гектарів, за всіма своїми параметрами можуть і повинні стати полігоном для розміщення комплексів РГ, які, по суті, повинні стати міні- або мікроелектростанціями в структурі систем електропостачання підприємств України, у тому числі залізорудних підприємств [3].

**Визначення раніше невирішених частин загальної проблеми.** Раніше було запропоновано встановлення енергетичних установок на спряженні квершлагів, на відвалах кар'єрів та інших можливих місць установки в умовах залізорудних підприємств. Для досягнення належної енергоефективності функціонування систем електропостачання та електроспоживання залізорудних підприємств при впровадженні джерел розосередженої генерації до систем електропостачання зазначених підприємств, пропонується низкою авторів впровадження інтелектуальних систем управління. Однак поки що остаточно не визначено принципи впровадження інтелектуальних систем управління електропостачанням зазначених підприємств, особливо при реконфігурації цих систем [1-14].

**Мета статті.** Головною метою цієї роботи є синтез особливостей електропостачання залізорудних підприємств за умови впровадження до системи їх електропостачання джерел розосередженої генерації та аналіз специфіки їх функціонування.

**Виклад основного матеріалу.** Переважна більшість орографічних утворень в Україні, у тому числі Придніпровська та Донецька височини та Придніпровська низовина орієнтовані з північного заходу на південний схід відповідно до напрямку основних геоструктурних елементів, що зумовлює середню швидкість вітру близько 4–5 м/с. Окрім вище зазначеного, на місцеві особливості клімату України впливають також і водойми, що займають близько 0,3 % площі території країни. Вплив водосховищ, відстійників, ставків і боліт на режим метеорологічних величин різний. Найбільше водосховища впливають на вітер: його швидкість над акваторією та узбережжям підвищується на кілька десятків відсотків [5].

Деяке зростання швидкості вітру спостерігається повсюди на прибережному схилі, що спричинене насамперед близькістю водосховища. Швидкість вітру над акваторією водосховища майже не змінюється (15-20 %) в охолоджуючий період, а в теплий період – зростає на 50-100 %. Восени на вітряному березі водосховища спостерігається збільшення в 2-3 рази повторюваності сильних вітрів (понад 15 м/с) в порівнянні з вихідними вітровими умовами. В сторону суші бризи можуть проникати на відстань 3 км і більше, захоплюючи по висоті зону в 100-300 м. За наявності вітру із суші швидкістю понад 4 м/с, бриз зазвичай не утворюється [6].

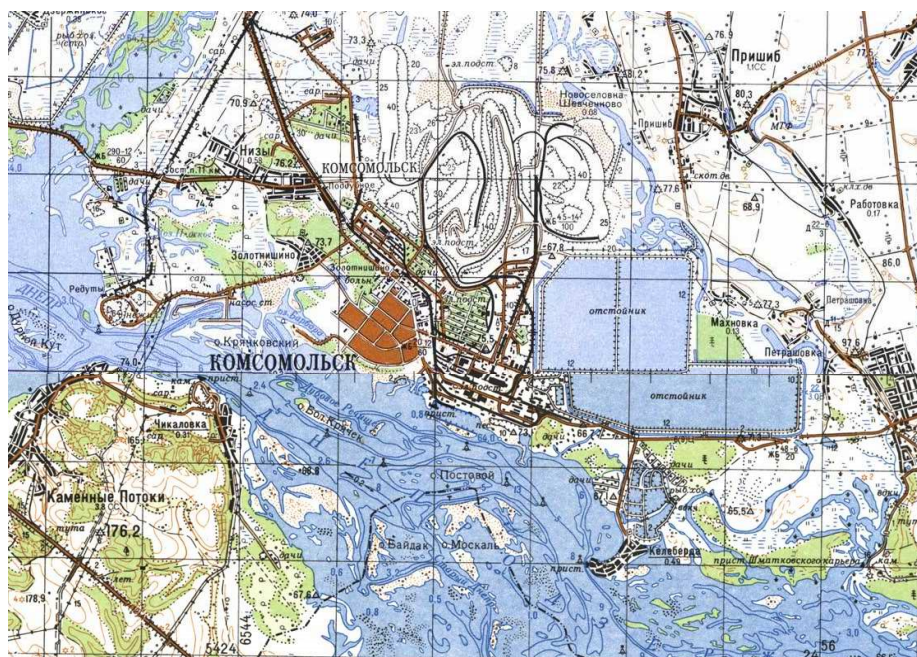


Рис. 1. Розташування залізорудного підприємства ВАТ «Полтавський ГЗК» відносно навколишніх природних та штучних водойм

Також у вище згаданих регіонах спостерігається достатній рівень інсоляції, що зумовлює сприятливі умови для використання сонячної фото- та теплоенергетики.

Водночас вітчизняні залізорудні підприємства є найбільш підготовленими для втілення в практику функціонування їхніх систем електропостачання міні- та мікроелектростанцій на базі відновлюваних джерел енергії.

Шахтна вентиляційна система, зазвичай, знаходиться в квазістаціонарному стані (в середньому є стаціонарною).

Природна тяга в шахтах може виникати за наступних умов [7]:

- за наявності декількох виходів на земну поверхню, особливо якщо ці виходи знаходяться на різних висотних відмітках;
- в окремих виробітках при різній густині повітря по периметру виробітки.
- між окремими горизонтами, якщо повітреподавальних стволів кілька.

За правилами безпеки забороняється провітрювання шахт за рахунок тільки природної тяги. Але природна тяга в багатьох випадках відіграє істотну роль у вентиляції шахти. У деяких шахтах депресія природної тяги досягає 25 % депресії вентиляторів головного провітрювання.

У шахтах трапляються випадки, коли вертикальні або нахилені виробітки поєднані на декількох горизонтах (рис. 2). У таких випадках на кожному горизонті діє своя природна тяга, яка визначається густиною повітря на ділянках, розташованих вище цього горизонту [8].

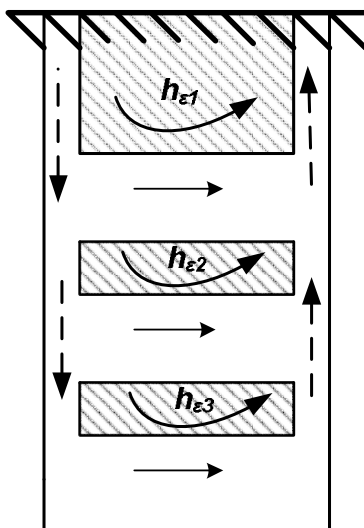


Рис. 2. Визначення депресивної тяги при одночасному з'єднанні виробок між собою на декількох горизонтах

Фактори, що впливають на природну тягу [9]:

- температура повітря в гірничих виробках (визначає його густина);
- температура повітря на поверхні;
- температури стовпів повітря, які знаходяться над різними входами у шахту в гористій місцевості;
- тиск повітря біля поверхні землі (визначає густина повітря).

Зі збільшенням глибини шахти депресія природної тяги змінюється експотенціально.

Взимку депресія природної тяги дещо збільшується. Влітку відбувається зворотне явище. Так як ці зміни незначні, тому характеристика природної тяги вважається постійною, тобто такою, що не залежить від витрати повітря [9].

У зв'язку з цим для розрахунку депресії природної тяги можуть застосовуватися гідростатичні й термодинамічні методи.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Для розрахунку природної тяги гідростатичним методом визначається різниця аеростатичних тисків повітря в двох стовбурах, між стовбурами або горизонтами.

За формулою М. М. Протодьяконова [10]:

$$h_e = H(Y_{II} - Y_{HI}), \text{ Па} \quad (1)$$

де  $H$  – глибина шахти, м;  $Y_{II}$  и  $Y_{HI}$  – середнє значення питомої ваги повітря відповідно що надходить і що виходить повітряним струменям,  $\text{Н/м}^3$ .

Середнє значення питомої ваги повітря визначається з виразу [9]:

$$\gamma = 0,0171 \left( \frac{p_1}{273 + t_1} + \frac{p_2}{273 + t_2} \right), \text{ Н/м}^3 \quad (2)$$

де  $p_1$  і  $p_2$  – тиск на початку та наприкінці поступаючого та вихідного струменя, Па;  $t_1$  і  $t_2$  – температура повітря в тих же точках,  $^{\circ}\text{C}$  (величину  $t_1$  визначають у стовбурі на глибині 20 ÷ 30 м).

Влітку питома вага повітря, що надходить в шахту менше вихідного, тому депресія природної тяги знижується і в неглибоких шахтах може бути навіть від'ємною.

У глибоких шахтах, внаслідок високої температури повітря у висхідному струмені депресія природної тяги, переважно, додатня [11].

$$h_e = 0.046H(t_{II} - t_B), \text{ Па}, \quad (3)$$

де  $H$  – різниця абсолютних відміток глибини повітроподаючої та повітровидаючої виробок, м;  $t_{II}$ ,  $t_B$  – середня температура повітря відповідно в стволах, по яких надходить у шахту і видається з неї,  $^{\circ}\text{C}$ .

Для шахт із різними висотними відмітками глибини повітроподаючої та повітровидаючої виробіток можна використовувати таку формулу:

$$h_e = Y_{cp}H \frac{t_H - t_{cp}}{273 + t_{cp}}, \text{ Па}, \quad (4)$$

де  $Y_{cp}$  – середньоконтурна питома вага повітря,  $\text{Н/м}^3$ ;  $H$  – різниця глибини повітроподаючої та повітровидаючої виробіток, м;  $t_H$  – температура зовнішнього повітря повітроподаючої виробітки,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{cp}$  – середня температура рудничного повітря  $^{\circ}\text{C}$ .

Питома вага повітря визначається за формулою [9]:

$$Y = 4,459 \frac{\rho}{273 + t}, \text{ Н/м}^3 \quad (5)$$

де  $\rho$  – атмосферний тиск повітря, Па;  $t$  – температура повітря,  $^{\circ}\text{C}$ .

У турбулентному потоці повітря виникають вихрові потоки. Великі вихори є нестійкими та розпадаються на дрібніші, стійкість яких вища, але істотно залежить від в'язкості повітряного середовища. Це призводить до дисипації їх механічної енергії. Отже, турбулентний потік повітря в підземних виробках являє собою потік вихорів різного розміру від найбільших, розміри яких можуть дорівнювати поперечним розмірам виробки, до найдрібніших. Зміна в часі подібних вихорів створює в кожній точці повітряного потоку хаотичні коливання миттєвих швидкостей. Число Рейнольдса характеризує співвідношення між силами інерції й силами тертя в повітряному потоці [9].

$$Re = \frac{\rho u l}{\eta} = \frac{u l}{\nu}, \quad (6)$$

де  $\rho$  – густина повітря;  $l$  – характерний лінійний розмір;  $\eta$  – динамічна в'язкість;  $Re$  – число Рейнольдса;  $u$  – швидкість повітря;  $\nu$  – кінематична в'язкість повітря.

На роботу вітроенергетичної установки (ВЕУ) в умовах залізрудних шахт (ЗРШ) суттєво впливають інерційні сили, фізичні особливості потоку повітря, форма виробок,

розташування вітрового колеса (ВК) відносно напрямку руху повітряного потоку у підземній виробці, а також форма лопатей ВК.

Детальне вивчення всіх складових процесу впровадження ВЕУ в умовах ЗРШ є досить всебічним, багатограним, науково містким і технічно складним процесом, який має забезпечити оптимальні умови впровадження та роботи ВЕУ.

Таким чином запропоновано такі способи розміщення ВЕУ в умовах шахт для роботи на енергії незадіяних та відпрацьованих повітряних вентиляційних потоків, які показані на рис. 3.

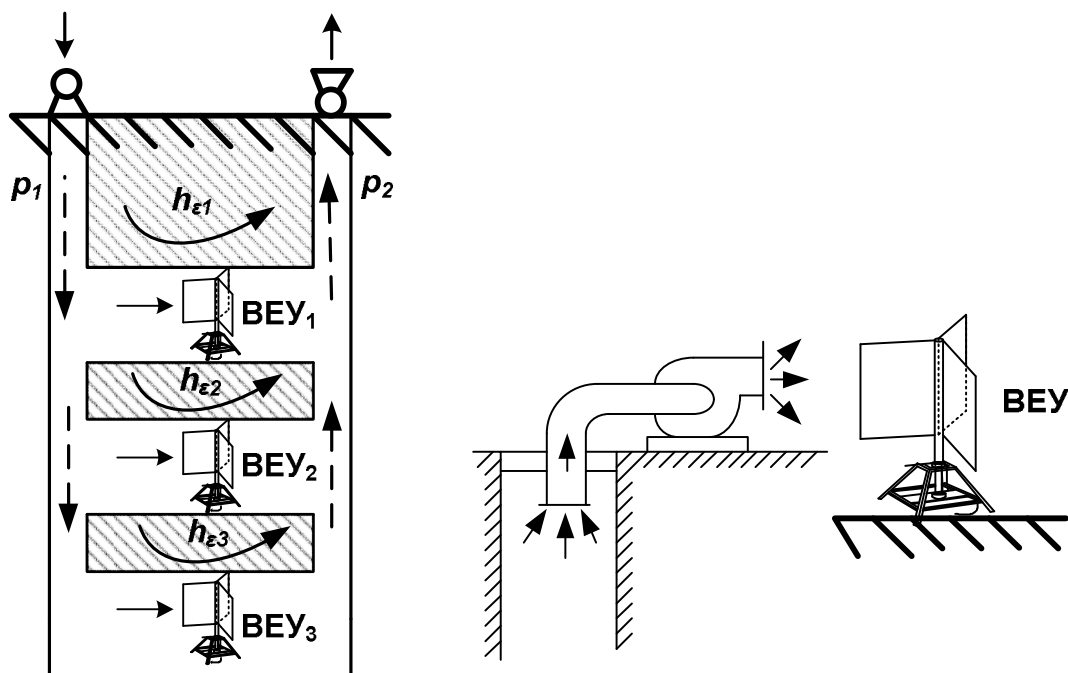


Рис.3. Способи розміщення вітроенергетичних установок в умовах шахт для роботи на енергії незадіяних та відпрацьованих повітряних вентиляційних потоків

ВЕУ можуть бути застосовані для автономного живлення споживачів електричної енергії залізничних шахт [9-12]. Раніше встановлено, що енергоефективним варіантом структури енергетичного комплексу таких ВЕУ є система з асинхронним генератором [5].

Моделювання надійності системи електропостачання ЗРП при впровадженні РГ можна представити за допомогою штучних нейронних мереж (ШНМ).

Структурну схему ШНМ, можна проілюструвати наступним чином (рис.4): вхідні нейрони нульового шару позначимо  $1_0, 2_0$ , приховані нейрони першого шару позначимо  $1_{(1)}, 2_{(1)}$ , а вихідний нейрон – символом  $1_{(2)}$ , вагові коефіцієнти зміщень для прихованого шару –  $\Theta_{1(1)}$  та  $\Theta_{2(1)}$ , а вихідного шару –  $\Theta_{1(2)}$ , вхідні сигнали до  $1_0$  нейрона через  $x_1 = (1,1,0,0)$ , а вхідні сигнали до  $2_0$  нейрона – через  $x_2 = (1,0,1,0)$ , загальний вихідний сигнал до нульового шару запишемо у вигляді кортежу:  $\{(x_1, x_2)\} = \{(1,0;1,0), (1,0;0), (0;1,0), (0;0)\}$ , а вихідний сигнал –  $OUT = \{0;1;1;0\}$ , а вагові коефіцієнти відповідно  $\omega_{ij}$  та  $\gamma_{jk}$ , матриці яких будуть:

$$W_1 = \begin{vmatrix} \omega_{11} & \omega_{12} \\ \omega_{21} & \omega_{22} \end{vmatrix} \text{ та } W_2 = \begin{vmatrix} \gamma_{11} \\ \gamma_{21} \end{vmatrix}.$$

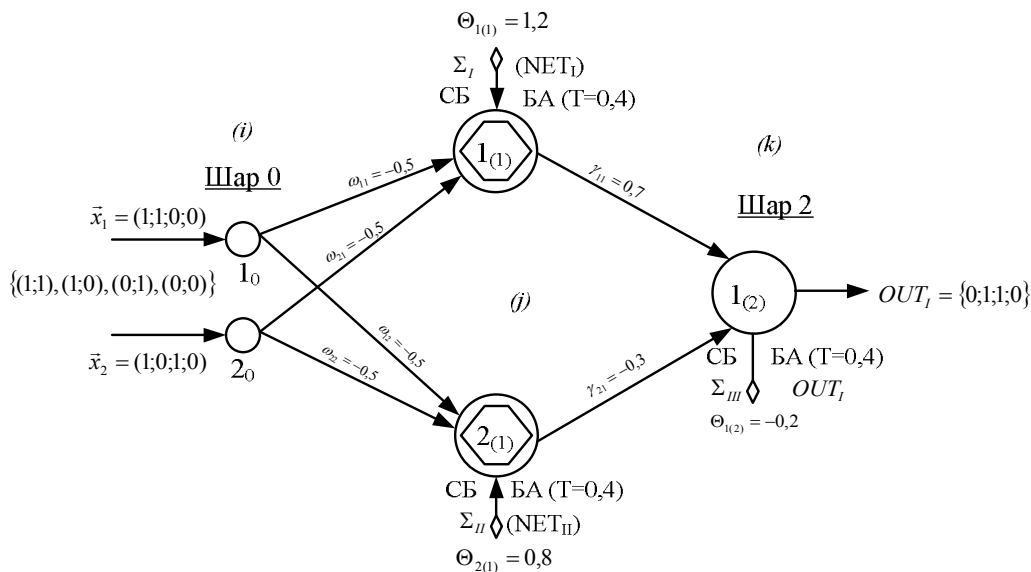


Рис. 4. Схема штучної нейронної мережі для моделювання надійності системи електропостачання залізничного підприємства при впровадженні розосередженої генерації

$$\Sigma_I = \sum_{i=1, j=1}^{i=n, j=m} x_i \omega_{ij} + \Theta_{1j}; i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}; \Sigma_{II} = \sum_{i=1, j=1}^{i=n, j=m} x_i \omega_{ij} + \Theta_{2j}; i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m};$$

$$\Sigma_{III} = \sum_{k=1, j=1}^{k=s, j=m} Y_j \gamma_{kj} + \Theta_k; k = \overline{1, s}; j = \overline{1, m}.$$

У розглянутому випадку  $n=2, m=2, s=1$ , де  $n$  – кількість нейронів нульового шару,  $m$  – кількість входів до нейронів прихованого шару від нейронів нульового шару (нейронів (першого) прихованого шару),  $s$  – кількість нейронів вихідного шару (другого шару);  $\omega_{ij}$  – ваговий коефіцієнт від  $i$ -го шару (вхідного) до  $j$ -го нейрона прихованого шару. Тоді  $\omega_{1,2}$  – ваговий коефіцієнт зв'язку від першого нейрона нульового шару (вхідного) до другого нейрона прихованого шару (першого шару), аналогічно для інших вагових коефіцієнтів.  $\gamma_{jk}$  – ваговий коефіцієнт зв'язку від  $j$ -го нейрона прихованого шару (першого шару) до  $k$ -го нейрона вихідного шару (другого шару) [12].

$\Sigma_I$  – сума вагових зв'язків, які входять до першого нейрона прихованого шару,  $\Sigma_{II}$  – сума вагових зв'язків, які входять до другого нейрона прихованого шару,  $\Sigma_{III}$  – сума вагових зв'язків, які входять до нейрона виходу (другого шару).  $NET_I=Y_1$  – сигнал виходу із першого нейрона прихованого шару, після активації пороговою функцією ( $T=0,4$  – числове значення порогу),  $NET_{II}$  – сигнал виходу із другого нейрона прихованого шару (шар 2),  $OUT$  – числове значення вихідного сигналу із першого нейрона вихідного шару (другого шару), після активації пороговою функцією ( $T=0,4$  – числове значення порогу функції активації).  $\{(1,0;1,0), (1,0;0), (0;1,0), (0;0)\}$  – кортеж вхідних сигналів до нульового шару (вхідного шару),  $\{1,1,0,0\}$  – кортеж вихідних сигналів із другого шару (вихідного шару) [13].

$\Theta_{1(1)}, \Theta_{2(1)}, \Theta_{1(2)}$  – вагові коефіцієнти зміщень першого та другого нейронів прихованого шару (першого шару) та першого нейрона вихідного шару (другого шару).  $\vec{x}_1 = (1,0;1,0;0;0)$  – вектор вхідних значень до першого нейрона ( $1_0$ ) вхідного шару (нульового шару),  $\vec{x}_2 = (1,0;0;1,0;0)$  – вектор вхідних значень до другого нейрона ( $2_0$ ) вхідного шару (нульового шару).

Схематично зображена на рис. 4 ШНМ для різних вхідних векторів буде одержувати на виході відповідні кожному з них значення, а саме:

- 1) (1,0;1,0) на вході, а на виході  $OUT=0$ ;
- 2) На вході (1,0;0), а на виході  $OUT=1$ ;
- 3) На вході (0;1,0), а на виході  $OUT=1$ ;
- 4) На вході (0;0), а на виході  $OUT=0$ .

Таким чином, кожному вхідному вектору  $(x_1, x_2)$  на виході ШНМ відповідає певне числове значення  $OUT$ .

Порогова функція

$$F(NET) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } NET < T \\ 1, & \text{якщо } NET \geq T \end{cases} \quad (7)$$

є прикладом нелінійної функції активації.

Прикладом лінійної функції є

$$F(NET) = \beta(NET), \quad (8)$$

область значень якої  $F(NET) \in (-\infty; +\infty)$ , при наявності якої у блоку активації (БА), вихід із нейрона буде дорівнювати значенню входу у цей нейрон, якщо  $\beta = 1$ . Тоді можна зробити висновок, що багатошарова нейронна мережа із лінійною функцією активації може розв'язувати лише ті задачі, які можуть розв'язувати одношарові нейронні мережі, які мають лише вхідні і вихідні нейрони. Тоді можна зробити наступний висновок: для багатошарових ШНМ треба використовувати нелінійні функції активації, це логістична функція

$$F(NET) = [1 + \exp(-\alpha \cdot NET)]^{-1}, \quad (9)$$

або інші нелінійні функції. Найкращим варіантом є логістична, оскільки вона є неперервною на всій області визначення  $(-\infty; +\infty)$ , диференційованою і монотонно зростаючою для всіх  $NET$  від  $(-\infty; +\infty)$  (на інтервалі значень  $(0;1)$ ).

Отже, кожний елемент з множини вхідних значень  $x$  з'єднаний ваговим значенням  $x_i \omega_{ij}$  із кожним шаром ШНМ, а в СБ нейрона знаходять вагову суму входів до даного нейрона, яка поступає на БА, після активації в якому, на вихід до вихідного шару вийде сигнал  $NET$ . Вихідний вектор  $\vec{L}$  ШНМ, компонентами якого є виходи  $OUT$  із нейронів вихідного шару, чисельно дорівнює добутку матриці  $\vec{X}$  – вектор-рядок вхідних сигналів на матрицю  $W$  – матриця вагових коефіцієнтів, тобто:

$$L = XW, \quad (10)$$

де  $\vec{L}$  – матриця-рядок.

Багатошарові ШНМ мають значно більше можливостей при розв'язуванні практичних і прикладних задач, вони являють собою набір шарів, таких що вихід з одного шару буде входом до наступного шару, а збільшення обчислюваних можливостей (потужностей) у порівнянні із одношаровою ШНМ, можливе лише при наявності нелінійної функції активації між шарами [13].

Якщо в багатошарових ШНМ відсутня нелінійна функція активації, то обчислення числового значення вихідного шару знаходять як добуток вхідного вектора  $X$  на першу вагову матрицю  $W_1$ , потім на наступну вагову матрицю  $W_2$ . Тобто:

$$OUT = (\vec{X}\vec{W}_1)\vec{W}_2, \quad (11)$$

а в результаті того, що добуток матриць асоціативний, тоді

$$OUT = (\vec{X}\vec{W}_1)\vec{W}_2 = \vec{X}(\vec{W}_1\vec{W}_2). \quad (12)$$



TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Тобто по суті здійснений перехід від багатошарової ШНМ до одношарової ШНМ, тобто двохшарова ШНМ еквівалентна одному прихованому шару з ваговою матрицею, що дорівнює добутку двох вагових матриць ( $W_{заг} = W_1W_2$ ) [14]. Тоді:

$$OUT = (\bar{X}\bar{W}_1)\bar{W}_2 = \bar{X}(\bar{W}_1\bar{W}_2) = \bar{X}(\bar{W}_{заг}). \tag{13}$$

Отже, будь-яка багатошарова ШНМ із лінійною функцією активації може бути замінена на еквівалентну одношарову ШНМ із ваговою матрицею:

$$W_{заг} = W_1W_2. \tag{14}$$

Нейронні мережі, які розглядалися раніше, називають мережами прямого поширення вхідного сигналу або мережами з прямими зв'язками, тобто від вхідного шару до шару виходу сигналу із ШНМ, тобто від попереднього шару до наступного і по порядку. Але можливості таких ШНМ обмежені, у них відсутня пам'ять, тобто їх вихід повністю визначається значеннями вхідних векторів і значеннями вагових коефіцієнтів. Такі мережі ще називають ШНМ без зворотних зв'язків.

ШНМ, які мають зв'язки від вихідних шарів до вхідних, називають мережами із зворотніми зв'язками. У деяких ШНМ із зворотніми зв'язками значення виходу із мережі повертається на вхідні шари, тобто вихід буде як вхід (рис. 5). Тому ШНМ із зворотніми зв'язками мають властивість, схожу на короткотермінову людську пам'ять.

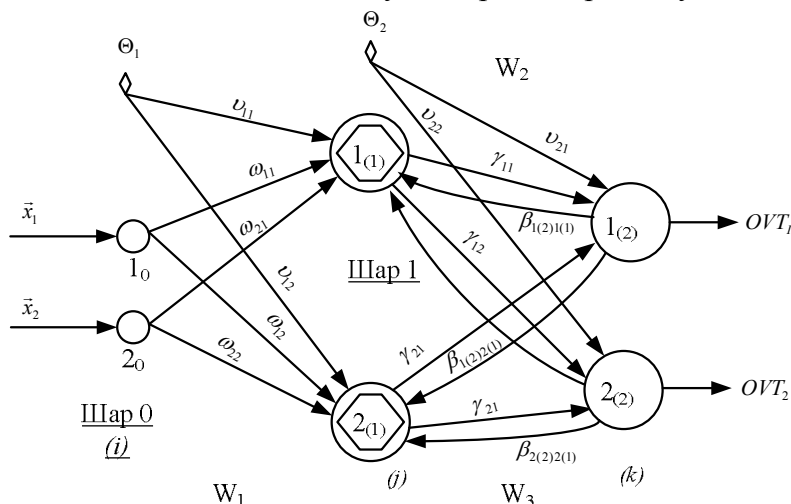


Рис. 5. Схема штучної нейронної мережі зі зворотним зв'язком

Алгоритм зворотного поширення сигналу у ШНМ складається із двох напрямків поширення сигналу [15]:

- 1) прямий напрямок поширення сигналу від нульового шару до вихідного шару;
- 2) зворотний напрямок поширення сигналу від вихідного шару до вхідного, передаючи значення похибки від вихідного шару до вхідного (першого) шару, що і визначає на яку величину потрібно коригувати вагові коефіцієнти у процесі навчання ШНМ, яке застосовується для того, щоб ШНМ змогла виконувати поставлену перед нею задачу за даними, які до неї надходять.

Механізм зворотного поширення сигналу [15]:

- 1) у прямому поширенні сигналу нейрон прихованого шару посилає сигнали кожному нейрону вихідного шару;
- 2) в зворотному поширенні сигналу нейрони прихованого шару одержують сигнали похибок від кожного нейрона вихідного шару.

Матриці вагових коефіцієнтів:

$$W_1 = \begin{vmatrix} \omega_{11} & \omega_{12} \\ \omega_{21} & \omega_{22} \end{vmatrix}, W_2 = \begin{vmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} \end{vmatrix}, W_3 = \begin{vmatrix} \beta_{11} & \beta_{12} \\ \beta_{21} & \beta_{22} \end{vmatrix}, W_{\theta_1} = \begin{vmatrix} g_{11} \\ g_{12} \end{vmatrix}, W_{\theta_2} = \begin{vmatrix} g_{21} \\ g_{22} \end{vmatrix},$$



де  $\beta_{1(2)1(1)}$ ,  $\beta_{1(2)2(1)}$ ,  $\beta_{2(1)1(1)}$ ,  $\beta_{2(2)2(1)}$  – вагові коефіцієнти зворотнього зв'язку між k-м та j-м шаром [15].

**Висновки і пропозиції.** 1. Аналіз можливості впровадження джерел розосередженої генерації в умовах залізорудних підприємств, у тому числі ВАТ «Полтавський ГЗК» показав позитивну тенденцію щодо впровадження джерел розосередженої генерації.

2. Модель надійності системи електропостачання залізорудних підприємств при впровадженні розосередженої генерації можна представити за допомогою штучних нейронних мереж, що дозволить покращити прогнозованість згенерованої електроенергії розосередженою генерацією в часі.

#### Список використаних джерел

1. Енергетична стратегія України на період до 2035 р. URL: <http://mpe.kmu.gov.ua>.
2. Основні параметри енергозабезпечення національної економіки на період до 2020 року. Стогній Б. С. та ін.– Київ: Вид-во Ін-ту електродинаміки НАН України, 2011. 275 с.
3. Клімат України / за ред. В. М. Лівійського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. Київ: Вид-во Раєвського, 2003. С. 133.
4. Загальна гідрологія: підручник / за ред. С. М. Лисогора. Київ: Фітосоціоцентр, 2000. 264 с.
5. Гурін, А. О., Бересневич П. В., Немченко А. А., Ошманський І. Б. Аерологія гірничих підприємств. Кривий Ріг: Видавничий центр КНУ, 2007. 262 с.
6. Дмитренко Л. В., Барандіч С. Л. Вітроенергетичні ресурси в Україні. *Наук. пр. УкрНД-ГМІ*. 2007. Вип. 256. С. 166-173.
7. Дослідження вітрового режиму України, виявлення основних кліматоутворюючих факторів глобального і регіонального масштабів, які обумовлюють сучасні особливості вітрового режиму України: Аналіз даних довгострокових спостережень вітропотенціалу на гідрометеорологічних станціях України. Том 1: Звіт з НДР / МНТЦ вітроенергетики НАНУ. Київ, 2001. 136 с.
8. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України. Київ: ТОВ «ВіолаПрінт», 2008. 55 с.
9. Праховник А. В. Малая энергетика: распределенная генерация в системах энергоснабжения. Київ: Освіта України, 2007. 464с.
10. Бойко С. М. Можливості використання вітрогенераторів для виробництва електричної енергії в підземних виробках шахт. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2012. № 2. С. 97–99.
11. Синчук О. М., Бойко С. М. Електромеханічний комплекс вітроенергетичної установки для використання в підземних виробках залізорудних шахт. *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. 2014. № 1/8(67). С. 13–21.
12. Энергоэффективность железорудных производств. Оценка, практика повышения: монография / Синчук О. Н. и др. Кременчуг: LAP LAMBERT Academic Publishing is managed by OmniScriptum Management GmbH., 2016. 346с.
13. Синчук О. Н., Бойко С. М. Нейронні мережі та управління процесом управління електропостачанням об'єктів від комбінованих електричних мереж. *Технічний електродинаміка*. 2014. № 5. С. 53–55.
14. Головка В. А. Нейронні мережі: навчання, організація і застосування. Книга 4: навчальний посібник для вузів. Москва: ИПРЖР, 2001. 256 с.
15. Impact of Supply Voltage Change on the Energy Performance of Boost Quasi-Resonant Converter for Radioelectronic Equipment Power Supplies / Gorodniy O., Gordienko V., Stepenko S., Boyko S., Sereda O. *Modern Electrical and Energy Systems (MEES)*. 2017. P. 232–235.
16. Buchholz B., Styczynski Z. Smart Grids Fundamentals and Technologies in Electricity Networks, Springer 2014. 396 p.

#### References

1. Enerhetychna stratehiya Ukrayiny na period do 2035 r. [Energy strategy of Ukraine for the period up to 2035]. Retrieved from <http://mpe.kmu.gov.ua>.
2. Stohnii, B. S., Kyrylenko, O. V., Prakhovnyk, A. V., Denysiuk, S. P., Nehoduiko, V. O., Pertko, P.P., Blinov, I. V. (2011). *Osnovni parametry enerhozabezpechennia natsionalnoi ekonomiky na period do 2020 roku [The main parameters of energy security of the national economy for the period until 2020]*. Kyiv: Vyd-vo In-tu elektrodynamiky NAN Ukrayiny [in Ukrainian].

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

3. Liviyskyi, V. M., Diachuk, V. A., Babichenko, V. M. (Eds.) (2003). *Klimat Ukrainy [Climate of Ukraine]*. Kyiv: Vyd-vo Rayevskoho [in Ukrainian].

4. Lysohor, S. M. (Ed.) (2000). *Zahalna hidrolohiia [General hydrology]*. Kyiv: Fitosotsiotsentr [in Ukrainian].

5. Hurin, A. O., Beresnevych, P. V., Nemchenko, A. A., Oshmanskyi, I. B. (2007). *Aerolohiia hirnychkykh pidpriemstv [Aerology of mining enterprises]*. Kryvyi Rih: Vydavnychy tsestr KNU [in Ukrainian].

6. Dmytrenko, L. V., Barandich, S. L. (2007). Vitroenerhetychni resursy v Ukraini [Wind energy resources in Ukraine]. *Nauk. pr. UkrNDHMI – Science of UkrNDHMI*, 256, 166-173 [in Ukrainian].

7. Doslidzhennia vitrovoho rezhymu Ukrainy, vyavlennia osnovnykh klimatoutvoriuiuchykh faktoriv hlobalnoho i rehionalnoho mashtabiv, yaki obumovlyuyut' suchasni osoblyvosti vitrovoho rezhymu Ukrainy: Analiz danykh dovhostrokovykh sposterezhen vitropotentsialu na hidrometeorolohichnykh stantsiiakh Ukrainy. Vol. 1: Zvit z NDR / MNTTS vitroenerhetyky NANU [Investigation of the wind regime of Ukraine, identification of major climate-forming factors of global and regional scales that determine the current features of the wind regime of Ukraine: Analysis of long-term observations of wind potential at hydrometeorological stations of Ukraine. Volume 1: GDR Report] (2001). Kyiv [in Ukrainian].

8. *Atlas enerhetychnoho potentsialu vidnovliuvanykh dzherel enerhii Ukrainy [Atlas of energy potential of renewable energy sources in Ukraine]* (2008). Kyiv: TOV «ViolaPrint» [in Ukrainian].

9. Prakhovnyk, A. V. (2007). *Malaia enerhetyka: raspredeleonnaya heneratsiia v systemakh enerhosnabzheniia [Small energy: distributed generation in energy supply systems]*. Kyiv: Osvita Ukrainy [in Russian].

10. Boyko, S. M. (2012). Mozhlyvosti vykorystannia vitroheneratoriv dlia vyrobnytstva elektrychnoi enerhii v pidzemnykh vyrobkakh shakht [Possibilities of using wind turbines for electricity production in underground mine workings]. *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu – Bulletin of Vinnitsa Polytechnic Institute*, 2, 97–99 [in Ukrainian].

11. Sinchuk, O. M., Boyko, S. M. (2014). Elektromekhanichnyy kompleks vitroenerhetychnoi ustanovky dlia vykorystannia v pidzemnykh vyrobkakh zalizorudnykh shakht [Electromechanical complex of wind power plant for use in underground workings of iron ore mines]. *Vostochno-evropeyskii zhurnal peredovykh tekhnologii – East European Journal of Advanced Technology*, 1/8(67), 13–21 [in Ukrainian].

12. Synchuk, O. N., Synchuk, I. O., Huzov, E. S., Boyko, S. M., Ialovaia, A. N. (2016). *Enerhoeffektivnost zhelezorudnykh proizvodstv. Otsenka, praktika povysheniia [Energy efficiency of iron ore production. Assessment, practice of increasing]*. Kremenruh: LAP LAMBERT Academic Publishing is managed by OmniScriptum Management GmbH [in Russian].

13. Sinchuk, O. N., Boiko, S. N. (2014). Neironnye seti i upravlenie protsessom upravleniia elektrosnabzheniem obektov ot kombinirovannykh elektricheskikh setei [Neural networks and management of the process of power supply control of facilities from combined electric networks]. *Tekhnichna elektrodinamika – Technical electrodyamics*, 5, 53-55 [in Russian].

14. Golovko, V. A. (2001). *Neironnye seti: obuchenie, organizaciia i primenenie. Kniga 4: uchebnoe posobie dlja vuzov [Neural networks: training, organization and application. Book 4: A Training Manual for Universities]*. Moscow: In IPRZhR [in Russian].

15. Gorodniy, O., Gordienko, V., Stepenko, S., Boyko, S., Sereda, O. (2017). Impact of Supply Voltage Change on the Energy Performance of Boost Quasi-Resonant Converter for Radioelectronic Equipment Power Supplies, Modern Electrical and Energy Systems (MEES).

16. Buchholz B., Styczynski Z. (Springer 2014). Smart Grids Fundamentals and Technologies in Electricity Networks.

UDC 621.311.4.031

Serhii Boiko, Andrey Nekrasov, Oleksiy Gorodny, Oksana Borysenko, Yevgeniy Kas'yanov

## FEATURES OF ELECTRICITY SUPPLY OF SIDE-BASED EQUIPMENT IN IMPLEMENTATION OF RESTRICTED GENERATION

**Urgency of the research.** Ukraine has powerful dispersed generation resources. At the same time, one of the four measures proposed by the International Energy Agency for improving energy efficiency in the countries of the world is increasing the use of renewable energy sources in the total electricity production, including not the last role given to dispersed generation.

Meanwhile, the consequence of the natural decrease in the levels of iron ore extraction in our country, at depths exceeding 1000-1500 m, that is, towards the projected ones, which already increases the energy intensity of its extraction and the decline of the con-capita ability on the world market.

**Target setting.** The main purpose of this work is to synthesize the features of the electric power supply of iron ore enterprises, provided that they are introduced into the system of their electricity supply of distributed generation sources and analysis of the specifics of their operation.

**Actual scientific researches and issues analysis.** Thus, the actual scientific-practical task is to study the peculiarities of the operation of systems of electricity supply of iron ore enterprises with the use of sources of dispersed generation in their distribution networks.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Previously, it was proposed to install power plants at the crosscutting overheads, on dumps of quarries and other possible places of installation in the conditions of iron ore enterprises. However, the principles of the implementation of intelligent power supply management systems for the enterprises under consideration, especially when reconfiguring these systems, are not yet definitively defined.

**The research objective.** The purpose of this work is to synthesize the features of the electricity supply of iron ore enterprises, provided that the sources of distributed generation are introduced into their electricity supply system.

**The statement of basic materials.** In a number of previous studies, the authors justify the positive effect of the introduction of dispersed generation into the structure of the power supply systems of enterprises.

The application of artificial neural networks in control systems and determination of electrical energy parameters of power supply systems of iron ore enterprises is proposed, which will allow multifactorial management and analysis of energy parameters in the implementation of distributed generation sources. The proposed approach for the implementation of artificial neural networks for modeling the reliability of the power supply system of iron ore enterprises with the introduction of dispersed generation can be presented with the help of artificial neural networks, which will improve predictability of generated electricity by dispersed generation in time.

**Conclusions.** The model of reliability of the power supply system of the field-view enterprises in the implementation of dispersed generation can be represented using artificial neural networks, which will improve predictability of generated electricity by dispersed generation in time.

**Keywords:** dispersed generation; electrical supply of enterprises; artificial neurons networks.

Fig.: 5. References: 16.

**Бойко Сергій Миколайович** – кандидат технічних наук, завідувач кафедри енергозабезпечення і систем управління, викладач кафедри енергозабезпечення і систем управління, Кременчуцький льотний коледж національного авіаційного університету (вул. Перемоги, 17/6, м. Кременчук, 39605, Україна).

**Boiko Serhii** – PhD in Technical Sciences, head of the department of energy supply and management systems, teacher of the department of energy supply and management systems, Kremenchuk Flight College of National Aviation University (17/6, Peremohy str., Kremenchuk, 39605, Ukraine).

E-mail: bsn1987@i.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9778-2202>

Scopus ID: 56417478200

**Некрасов Андрій Вікторович** – кандидат технічних наук, доцент Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського (вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна).

**Nekrasov Andrey** – PhD in Technical Sciences, Kremenchuk National University of Michaylo Jstrogradskiy (17/6, Perchotravneva str., Kremenchuk, 39600, Ukraine).

E-mail: boikosn2017@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3507-1987>

**Городній Олексій Миколайович** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри промислової електроніки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, Чернігів, 14035, Україна).

**Gorodny Olesiy** – PhD in Technical Sciences, senior lecturer of the Industrial Electronics Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: aleksey.gorodny@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5303-9564>

Web of Science: H-1425-2016

Scopus ID: 55327980200; ID 56338229500; ID 57191829796.

**Борисенко Оксана Миколаївна** – спеціаліст I категорії, Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету (вул. Перемоги, 17/6, м. Кременчук, 39605, Україна).

**Borysenko Oksana** – specialist category I, Kremenchuk Flight College of National Aviation University (17/6, Peremohy str., Kremenchuk, 39605, Ukraine).

E-mail: o.borisenko.klk@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7858-1349>

**Кас'янов Євгеній Юрійович** – аспірант, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського (вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна).

**Kas'yanov Yevgeniy** – Phd student, Kremenchuk National University of Michaylo Jstrogradskiy (17/6, Perchotravneva str., Kremenchuk, 39600, Ukraine).

E-mail: boikosn2017@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3507-1987>