

## ЕНЕРГЕТИКА

УДК 621.311.1

**Бойко С.М.**

Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету

**Некрасов А.В.**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

**Борисенко О.М.**

Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету

**Бондарець О.М.**

Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету

**Онищенко А.О.**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

### **АСПЕКТИ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ПІДПРИЄМСТВ ЗА УМОВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ДО СИСТЕМИ ЇХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ РОЗОСЕРЕДЖЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ**

*Метою роботи є синтез особливостей прогнозування електроспоживання підприємств при впровадженні за умови впровадження до системи їх електропостачання розосередженої генерації. Враховуючи те, що на підприємствах актуальне впровадження в загальну структуру систем електроживлення розосередженої генерації, запропоновано впровадження відновлюваних джерел енергії. Між тим із метою прогнозування, з достатнім рівнем вірогідності, електроенергоспоживання підприємств необхідно вирішити багатокритеріальну задачу. Застосування нейронних мереж у системах прогнозування електроенергетичних параметрів дасть змогу забезпечити багатофакторне прогнозування. Такий підхід дасть змогу покращити прогнозованість згенерованої електроенергії розосередженою генерацією в часі, що зменшить, своєю чергою, похибку прогнозу електроспоживання з мережі в умовах підприємств. Запропонована структурна схема визначення прогнозних показників енергоспоживання з мережі підприємства при впровадженні в структуру електропостачання цих підприємств розосередженої генерації з метою подальшої реалізації прогнозної моделі.*

**Ключові слова:** розосереджена генерація, відновлювальні джерела енергії, електропостачання підприємств, прогнозування електроспоживання, штучні нейронні мережі.

**Постановка проблеми.** Україна має потужні ресурси вітрової енергії та сонячної енергії. Як приклад, річний технічний вітроенергетичний потенціал дорівнює 30 млрд кВт·год. Експлуатація тихохідних багатолопатеєвих вітроустановок із підвищеним обертаючим моментом є ефективною практично на всій території України [1].

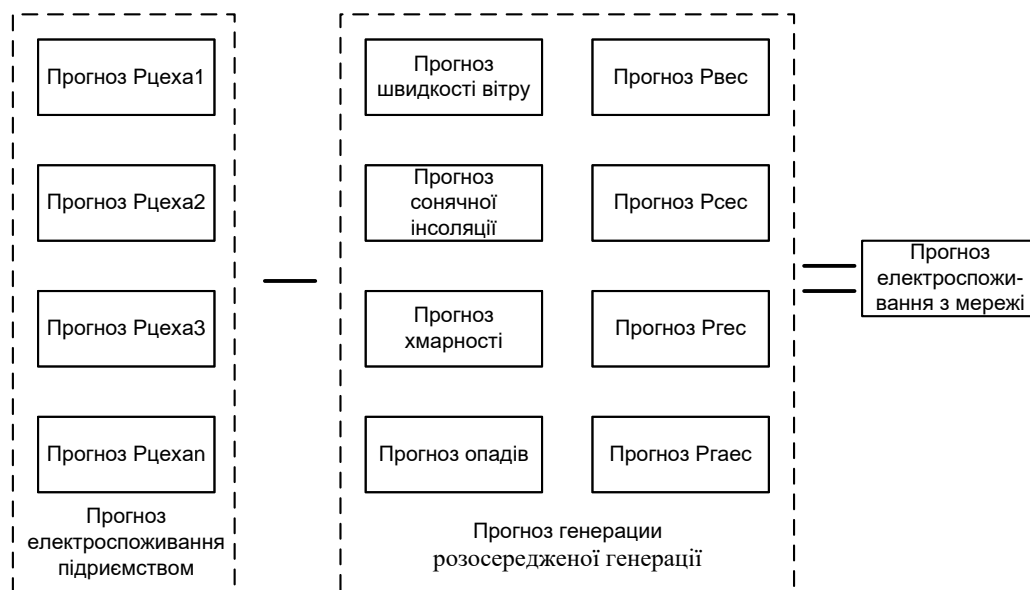
Низка промислових підприємств розташовані на побережжі водойм, що зумовлено технологічним процесом чи особливостями транспортування продукції.

Між тим водоймища мають позитивний вплив на енергетичні показники відновлювальних дже-

рел енергії (ВДЕ), що, як правило, входять до складу розосередженої генерації (РГ). В Україні налічується близько 30 тисяч водосховищ, ставків, великих каналів, із-поміж яких 10 великих водоводів у водозабірних басейнах річок [2].

Підприємства є одними з найбільших споживачів паливно-енергетичних ресурсів України. Між тим, що не менш важливо, досвід показує, що, незважаючи на недовантаження електричних потужностей, збитки від аварійних перерв енергозабезпечення щороку зростають.

Як друге незалежне джерело живлення електроспоживачів можуть бути використані, у



**Рис. 1. Структурна схема визначення прогнозних показників енергоспоживання із мережі підприємства під час впровадження в структуру електропостачання цих підприємств розосередженої генерації**

тому числі, спеціальні агрегати безперебійного живлення та акумуляторні батареї. Тому одним з альтернативних рішень є використання розосередженої генерації, розташованої на території підприємства, з метою електропостачання відповідальних електроприймачів в аварійних ситуаціях та інших псевдоаварійних режимах роботи, зменшення витрат за спожиту електроенергію та підвищення рівня надійності електропостачання.

Водночас аналіз розподілу потоків споживання електроенергії свідчить, що велика частка електричної енергії припадає саме на локальні енергетичні об'єкти, що зумовлює загалом актуальність вивчення питань особливостей прогнозування електроспоживання з мережі в умовах підприємств та актуальності застосування при цьому комбінованого підходу, особливо у разі впровадження в структуру електропостачання цих підприємств РГ [2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У низці попередніх досліджень автори обґрунтовують позитивний ефект водойм на енергетичні показники вітру, а саме збільшення швидкості та стабільності вітру у береговій зоні водойм, і чим більша водойма, тим більший ефект.

Між тим ці об'єкти (а це в масштабах України сотні гектарів) за всіма своїми параметрами можуть і мають стати полігоном для розміщення комплексів РГ, які, по суті, мають стати міні- або мікроелектростанціями в структурі систем елек-

тропостачання підприємств України, у тому числі гірничих [3].

**Постановка завдання.** Метою статті є визначення особливостей прогнозування електроспоживання з мережі в умовах підприємств при впровадженні в структуру електропостачання цих підприємств РГ.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** В результаті аналізу можливості впровадження ВДЕ у складі локальних енергетичних систем (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 їхній 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 [4].

До складу запропонованої системи електропостачання РГ входить таке устаткування: вітроенергетична станція (ВЕС), сонячна електростанція (СЕС), гідроенергетична станція (ГЕС), гідроакумуляююча станція (ГАЕС); батарея акумуляторів, що служить для накопичення електроенергії при роботі ВДЕ з метою живлення системи її управління (або, за необхідності, як резервне джерело живлення); перетворювальна апаратура, у разі використання генератора змінної напруги,

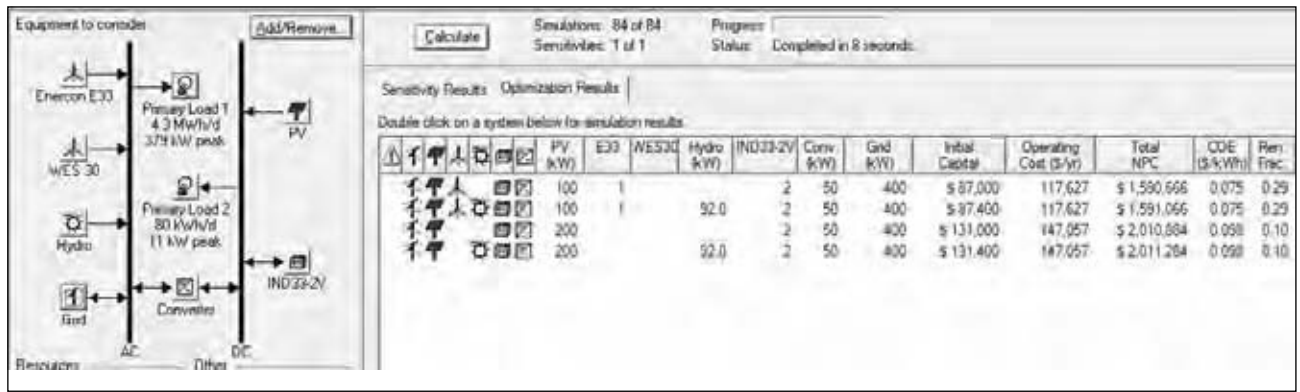


Рис. 2. Схема електропостачання на базі ВДЕ в програмі Homer energy

що служить 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).

Беручи до уваги раніше отримані результати [5] досліджень, у середовищі програми Homer energy було змодельовано запропоновану систему електропостачання на базі ВДЕ (рис. 2).

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.

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.

А за умови генерування РГ більшої потужності від необхідного споживання підприємством потужність спожитої електричної енергії з енергосистеми дорівнює [6]:

$$S_{PS} = S_{PP} - \left( \sum_{i=1}^n S_{VES_i} + \sum_{i=1}^n S_{SES_i} + \sum_{i=1}^n S_{GES_i} \right), \quad (3)$$

За умови можливості накопичення надлишку згенерованої електричної енергії ВДЕ потужність спожитої електричної енергії з енергосистеми дорівнює:

$$S_{PS} = S_{PP} \pm S_{\Sigma EB} - \left( \sum_{i=1}^n S_{VES_i} + \sum_{i=1}^n S_{SES_i} + \sum_{i=1}^n S_{GES_i} \right), \quad (4)$$

За умови від’ємного значення потужності спожитої електричної енергії з енергосистеми відбувається віддача надлишку згенерованої електричної енергії до мережі.

Оскільки під час впровадження комбінованого електропостачання велика кількість можливих конфігурацій, буде актуальним описування цих конфігурацій у вигляді тензора. Тензор електропостачання від ЛЕС із використанням ВДЕ представлено у вигляді [7]:

$$B_i^k \sum_{PP} = \sum_{i=1}^k S_i^k t^i = \begin{pmatrix} S_1^1 t^1 & S_2^1 t^2 & S_3^1 t^3 & S_4^1 t^4 & S_5^1 t^5 \\ S_1^2 t^1 & S_2^2 t^2 & S_3^2 t^3 & S_4^2 t^4 & S_5^2 t^5 \\ S_1^3 t^1 & S_2^3 t^2 & S_3^3 t^3 & S_4^3 t^4 & S_5^3 t^5 \\ S_1^4 t^1 & S_2^4 t^2 & S_3^4 t^3 & S_4^4 t^4 & S_5^4 t^5 \end{pmatrix}, \quad (5)$$

де  $k$  – варіанти електропостачання,  $i$  – джерела постачання ЕЕ,  $S_i^k$  – потужність  $i$ -го джерела ЕЕ в  $k$ -му варіанті електропостачання,  $t_i$  – час електропостачання від  $i$ -го джерела ЕЕ,  $S^k$  – варіант електропостачання ЕЕ,  $S_1$  – електромережа,  $S_2$  – вітроелектростанція,  $S_3$  – сонячна фотоелектростанція,  $S_4$  – мікрогідроелектростанція,  $S_5$  – акумулятори.

Перший рядок відображає сумарне постачання ЕЕ від ЛЕС на базі ВДЕ за першим варіантом.

Другий рядок відображає сумарне постачання ЕЕ від ЛЕС на базі ВДЕ за другим варіантом.

Третій рядок відображає сумарне постачання ЕЕ від ЛЕС на базі ВДЕ за третім варіантом.

Четвертий рядок відображає сумарне постачання ЕЕ від ЛЕС на базі ВДЕ за четвертим варіантом.

Згідно з правилом додавання, знак суми в записі тензора можна опустити і записати його у вигляді:

$$B_i^k \sum_{PP} = S_i^k t^i.$$

Таким чином, інструментом для побудови прогнозу були вибрані штучні нейронні мережі. Крім того, використання нейронних мереж позбавить нас необхідності дотримуватися якоїсь певної сезонної або трендової моделей. Ця модель здатна отримувати інформацію ззовні та має властивість самонавчання.

Теоретично доведено, що за допомогою таких найпростіших перетворень можна наблизити дуже важкі багатомірні функції, отже, оцінювати важкі залежності.

Специфікою нейромережових класифікаторів є навчання їх характеристик на навчальній множині. Реалізація таких алгоритмів у нейромережевому базисі можлива на основі мереж Кохонена, які вважаються самонавчального (самоорганізації). Основу навчання таких мереж становить конкуренція між нейронами. При цьому вагові коефіцієнти синаптичних зв'язків кожного  $i$ -го нейрона вихідного шару нейронної мережі Кохонена утворюють вектор  $w_i = (w_{i1}; w_{i2}; \dots; w_{i10})^T$  при  $i = 1, 2, \dots, n$  [8].

Навчання нейронної мережі Кохонена на основі конкуренції нейронів є таке впорядкування нейронів, яке мінімізує значення очікуваного спотворення, що оцінюється похибкою апроксимації вхідного вектору  $\Delta Y$ , значеннями вагових коефіцієнтів нейрона-переможця. При  $L$  вхідних векторах  $(\Delta Y)_j$ , ( $j = 1, 2, \dots, L$ ) і евклідової метриці ця похибка може бути виражена як [9–11]:

$$E = \frac{1}{L} \sum_{j=1}^L \|(\Delta Y)_j - w_p(j)\|^2; \quad (6)$$

де  $w_p(j)$  – вагові коефіцієнти нейрона-переможця при пред'явленні мережі вектору  $(\Delta Y)_j$ .

Побудова цього прогнозу реалізована у пакеті «St Neural Networks».

Результат дослідження зображено на рис. 3–4.

Отже, аналізуючи дослідження цього методу прогнозування, було встановлено, що методи відрізняються швидкістю обчислень, незначною похибкою отриманого прогнозу, кількістю необхідних даних для точного прогнозування та ін. [11–13].

#### Висновки.

1. На підприємствах актуальним та можливим є впровадження в загальну структуру систем електроживлення розосередженої генерації на базі відновлюваних джерел енергії. Водночас із метою

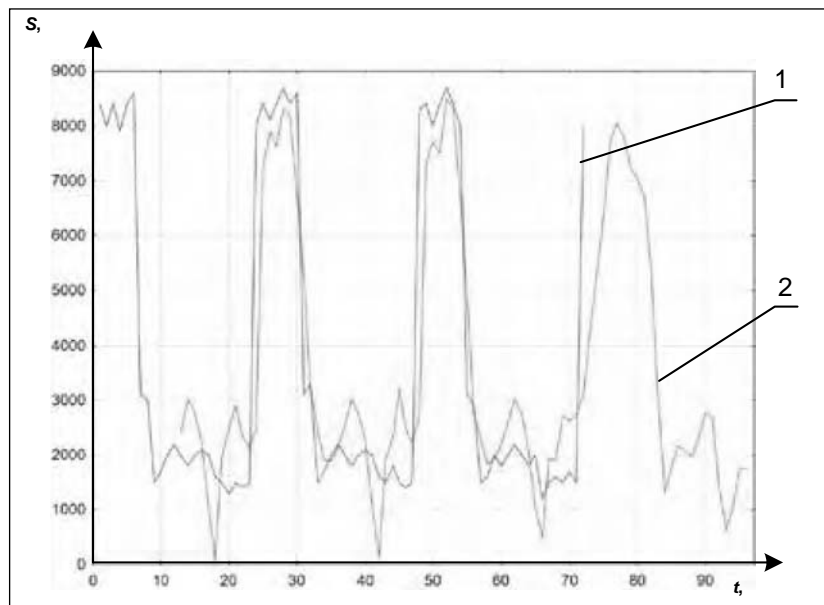


Рис. 3. Погодинний прогноз електроспоживання на добу:  
1 – фактичне споживання; 2 – згладжений ряд

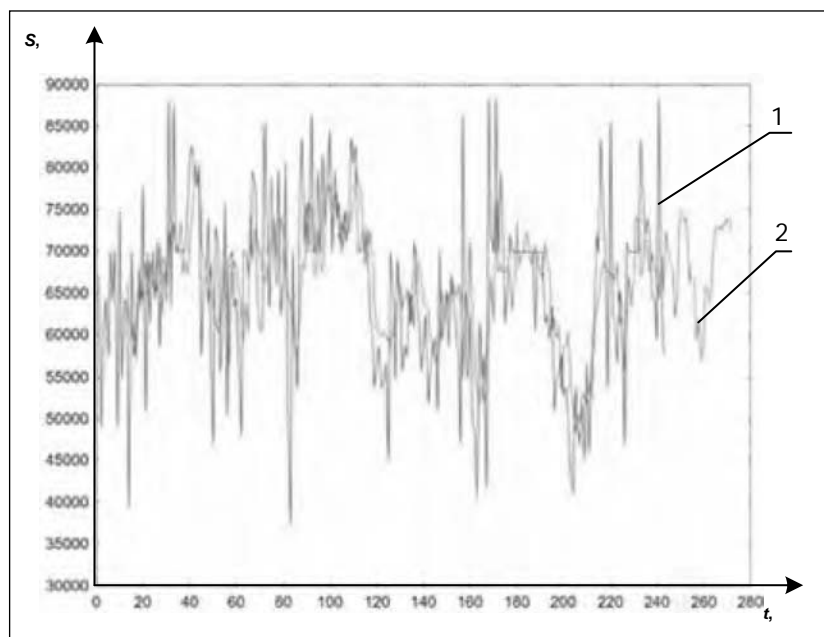


Рис. 4. Місячний прогноз на місяць в 2017 р.:  
1 – фактичне споживання; 2 – згладжений ряд

достатньо енергоефективного використання таких мініелектростанцій у структурах систем електроживлення необхідно ґрунтовно аналізувати питання, що пов'язані з приєднанням джерел розосередженої генерації в комплекс вищезгаданих систем.

2. З метою прогнозування, з достатнім рівнем вірогідності, електроенергоспоживання підприємствами необхідно вирішити багатокритеріальну задачу з обов'язковим попереднім визначенням

всіх факторів, що впливають та визначають рівні енергоспоживання конкретного підприємства.

3. Застосування нейронних мереж у системах прогнозування електроенергетичних параметрів відновлювальних джерел енергії дасть змогу забез-

печити багатфакторне прогнозування, що уможливить покращення прогнозованості згенерованої електроенергії розосередженою генерацією в часі, що зменшить, своєю чергою, похибку прогнозу електроспоживання з мережі в умовах підприємств.

#### Список літератури:

1. 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 залізничних підприємств (Аналіз, перспективи, проекти): монографія. Кривий Ріг: Видавництво ПП Щербатих О.В., 2017. 152 с.
2. Клімат України / За ред. В.М. Лівійського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. К.: Вид-во Раєвського, 2003. 133 с.
3. Загальна гідрологія: Підр. / Левківський С.С., Хільчевський В.К., Оболюцький О.Т. та ін.; за ред. С.М. Лисогора. К.: Фітосоціоцентр, 2000. 264 с.
4. Гурін А.О. Аерологія гірничих підприємств / А.О. Гурін, П.В. Бересневич, А.А. Немченко, І.Б. Ошманський. Кривий Ріг: Видавничий центр КНУ, 2007. 262 с. ISBN 978-966-350-369-1.
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. Vaumann T., Germond A. Application of the Kohonen Network to Short-Term Load Forecasting. IEEE 0-7803-1217-1. 1993. P.407-412.
7. Кузнецов М.П. Методи оцінки випадкових параметрів роботи енергосистем з інтегрованими вітровими електростанціями. Відновлювана енергетика. 2014. № 1. С. 59-64.
8. Buchholz B., Styczynski Z. Smart Grids Fundamentals and Technologies in Electricity Networks, Springer 2014. 396 p.
9. 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.
10. Bayir R. Kohonen Network based fault diagnosis and condition monitoring of serial wound starter motors [Text] / R. Bayir, O.F. Bay: IJSIT Lecture Note of International Conferense on Intelligent Knowledge Systems. 2004. Vol. 1. № 1.
11. Charytoniuk W., Chen M.S. Short-term Forecasting in Power Systems Using a General Regression Neural Network. IEEE Trans. on Power Systems. 1995. Vol. 7. № 1.
12. Voiko S. The operative prognosis to the conditions of the electrical supply complex – electric consumption of mining companies. Авіація, промисловість, суспільство: Збірник тез доповідей І Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених, курсантів та студентів (27 квітня 2018 р., м. Кременчук). Кременчук, ПП Щербатих О.В., 2018. С. 30.
13. Розен В.П., Шокар'єв Д.А., Ляпота К.П. Побудова прогнозної моделі енерговитрат за допомогою застосування методу планування експерименту. Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірка наукових праць «Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія й практика». 2010. № 28. С. 220-223.

#### АСПЕКТЫ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРИ ВНЕДРЕНИИ В СИСТЕМУ ИХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ РАССРЕДОТОЧЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

*Целью работы является синтез особенностей прогнозирования электропотребления предприятий при условии внедрения в систему их электроснабжения рассредоточенной генерации. Учитывая, что на предприятиях актуальным является внедрение в общую структуру систем электропитания рассредоточенной генерации, предложено внедрение возобновляемых источников энергии. Между тем, для прогнозирования с достаточным уровнем достоверности электроэнергопотребления предприятий необходимо решить многокритериальную задачу. Применение нейронных сетей в системах прогнозирования электроэнергетических параметров позволит обеспечить многофакторное прогнозирование. Такой подход позволит улучшить прогнозируемость сгенерированной электроэнергии рассредоточенной генерацией во времени, что уменьшит, в свою очередь, погрешность прогноза электропотребления из сети в условиях предприятий. Предложенная структурная схема определения прогнозных показателей энергопотребления с сети предприятия при внедрении в структуру электро-*

снабжения этих предприятий рассредоточенной генерации для дальнейшей реализации прогнозной модели.

**Ключевые слова:** рассредоточенная генерация, возобновляемые источники энергии, электро-снабжение предприятий, прогнозирование электропотребления, искусственные нейронные сети.

#### **ASPECTS MODEL OF FORECASTING ELECTRICITY OF ENTERPRISES, ON THE CONDITIONS OF IMPLEMENTATION TO THEIR SYSTEM OF ELECTRICAL SUPPLY OF DISPOSABLE GENERATION**

*The purpose of this work is to synthesize peculiarities of forecasting of substations' electric consumption at introduction, provided that generations are dispatched to their electricity supply system. Taking into account the fact that the enterprises actual introduction into the general structure of power supply systems of distributed generation, proposed the introduction of renewable energy sources. Meanwhile, for forecasting, with a sufficient level of probability, the electricity consumption of enterprises it is necessary to solve a multicriteria problem. Application of neural networks in systems of forecasting of electric power parameters will allow to provide multifactor forecasting. This approach will improve the predicted generation of electricity by dispersed generation in time, which in turn reduces the forecast error of the electricity consumption from the network in the conditions of enterprises. The structural scheme of determination of forecast indicators of energy consumption from the network of the enterprise is proposed, with the introduction of the electricity supply of these dispersed generation enterprises, for further implementation of the forecast model.*

**Key words:** dispersed generation, renewable energy sources, electrical supply of enterprises, forecasting of electro-consumption, artificial neurons networks.