

УДК 621.316.13

В.П. СОЛДАТЕНКО, С.П. ПЛЄШКОВ**АВТОМАТИЧНЕ КЕРУВАННЯ РЕЖИМАМИ РОБОТИ КОМБІНОВАНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ**

Запропоновано новий підхід до автоматичного керування режимами роботи комбінованої електроенергетичної системи з відновлювальними джерелами енергії, який враховує вплив генерованої потужності на рівні усталеного відхилення напруги. Показано, що для врахування такого впливу задачу автоматичного керування режимами роботи комбінованої електроенергетичної системи найдоцільніше інтерпретувати як задачу багатокритеріальної оптимізації. Обґрунтування метод вирішення задачі багатокритеріальної оптимізації, в повній мірі враховує вплив відновлюваних джерел енергії на показники якості електричної енергії.

Ключові слова: комплексна електроенергетична система, відновлювані джерела енергії, багатокритеріальна оптимізація

Предложен новый подход к автоматическому управлению режимами работы комбинированной электроэнергетической системы с возобновляемыми источниками энергии, который учитывает влияние генерированной мощности на уровни установившегося отклонения напряжения. Показано, что для учета такого влияния задачу автоматического управления режимами работы комбинированной электроэнергетической системы целесообразнее всего интерпретировать как задачу многокритериальной оптимизации. Обоснован метод решения задачи многокритериальной оптимизации, который в полной мере учитывает влияние возобновляемых источников энергии на показатели качества электрической энергии.

Ключевые слова: комплексная электроэнергетическая система, возобновляемые источники энергии, многокритериальная оптимизация

The work is devoted to the development of a new approach to managing of the combined electric power systems operating modes. It is shown that, in the mode of active power generation, renewable energy sources in the power system deteriorate the quality of electrical energy; in particular, there are overestimated values of the steady-state voltage deviation. It is proposed for influence accounting of the effect of renewable energy sources on the electric power quality indicators to interpret the control problem as a multicriteria optimization problem. The method for solving such a problem is substantiated, which fully takes into account the influence of renewable sources on the indicators of the quality of electric energy.

Keywords: complex electric power system, renewable energy sources, multicriteria optimization

Вступ. В енергобалансі України останніми роками відбувається постійне зростання частки енергії, яка виробляється відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ). Це відповідає світовим тенденціям і національній енергетичній стратегії України до 2035 року.

При впровадженні ВДЕ виділяють три підходи до способу їх підключення до енергетичної системи.

Системний підхід передбачає застосування потужних об'єктів відновлюваної енергетики, як то потужні сонячні електричні станції (СЕС), вітрові електричні станції (ВЕС) тощо, які підключаються до енергосистеми через власні розподільні електричні мережі (РЕМ). Для таких станцій споруджуються власні трансформаторні підстанції (ТП), лінії електропередачі (ЛЕП) високої напруги (35 кВ, 110 кВ тощо) з допомогою яких вони підключаються до енергосистеми країни.

Автономний підхід передбачає розробку енергетичних комплексів для живлення окремих об'єктів, зазвичай, малої потужності від ВДЕ. При цьому дається в знаки сезонна і добова нерівномірність потоків первинної енергії. Доводиться завищувати встановлену потужність енергоустановок, застосовувати акумуляування енергії. Це істотно підвищує кінцеву вартість енергії для споживача. Такий підхід застосовують лише в разі необхідності, а не повсюдно.

Зменшити вплив згаданих недоліків дозволяє комбінований підхід. Він передбачає використання ВДЕ у поєднанні із традиційним способом енергопостачання від РЕМ. При цьому стає можливим використання існуючих електричних мереж енергетичних компаній для видачі в них електричної енергії. Зникає необхідність використовувати акумулятори енергії, адже в єдину енергетичну систему можна віддати надлишок енергії і спожити її при необхідності. Такий підхід є найбільш перспективним.

Змінами внесеними Верховною радою України

до закону «Про електроенергетику» введено поняття «зеленого» тарифу. Ним було встановлено перелік відновлюваних джерел, вироблена енергія яких може продаватися за «зеленим тарифом» в енергетичну систему та визначено порядок тарифоутворення. Починаючи з 2013 року найбільша ставка «зеленого тарифу» передбачена для енергії СЕС на основі фотоелектричних перетворювачів.

Такі зміни в законодавстві енергетичної сфери сприяли різкому зростанню зацікавленості до СЕС.

З розвитком відновлюваної енергетики загалом і сонячної енергетики зокрема виникає і ряд технічних проблем [1]. Розподільні електричні мережі від великих електричних станцій проектувалися, як правило, для однонаправленого потоку потужності. Для цих режимів визначалися втрати потужності в РЕМ, рівні напруг на шинах підстанцій, обиралися методи та технічні засоби для регулювання напруги в мережі, режими роботи релейного захисту і автоматики. Таким чином забезпечувалися показники якості електричної енергії (ПЯЕ), зокрема відхилення напруги, економічність і надійність розподілу електричної енергії.

На даний час відсутні єдині рекомендації що до місця та способу приєднання ВДЕ до електричних мереж, які б забезпечували максимальну економічну і технічну ефективність експлуатації установок. Це може стати причиною необґрунтованих технічних рішень на стадії проектування.

При проектуванні потужних установок з використанням ВДЕ передбачається видача електричної енергії в розподільну мережу високої напруги (вище 110 кВ), до якої приєднані і традиційні електростанції. При цьому вплив обладнання ВДЕ на режими роботи високовольтної РЕМ та ПЯЕ не значні, внаслідок великої пропускну здатності ЛЕП.

Установки з ВДЕ малої (до 30 кВт) і середньої (до кількох сотень кВт) потужності встановлюють

фізичні або юридичні особи. Приєднуються такі установки до низьковольтних РЕМ на напругу 0,4 кВ або 10 кВ. Залежно від співвідношення потужності встановлених установок з ВДЕ та потужності споживання від РЕМ можливо виділити два випадки.

В першому випадку потужність установок з ВДЕ не значна порівняно із потужністю РЕМ. Тоді підключення такої електростанції сприятиме розвантаженню мережі по потужності і зменшенню падіння напруги в розподільній мережі. Вся вироблена енергія ВДЕ буде споживатися близько від місця її виробництва.

В другому випадку потужність установок з ВДЕ співрозмірна із потужністю РЕМ. При цьому виникають режими роботи, за яких відбір потужності споживачами електричної енергії від РЕМ менший за потужність генерації установками з ВДЕ. За таких обставин виникає зворотний потік потужності від ВДЕ до РЕМ. При цьому спостерігаються понаднормові значення усталеного відхилення напруги на шинах приєднання ВДЕ до РЕМ. Напруга зростає тим більше, чим більше перевищення генерації установок із ВДЕ над споживанням у розподільній мережі, до якої вони приєднані.

Аналіз публікацій. В роботі [8] приведені результати дослідження впливу генерації активної потужності, яка виробляється СЕС, на рівні відхилення напруги на шинах 0,4 кВ споживачів. Було доведено, що в локальних електричних мережах можливі режими, за яких напруги на шинах 0,4 кВ споживачів можуть виходити за межі нормально допустимих значень. Зокрема відмічено, що в таких системах мають місце різкі зміни напруги на шинах підстанцій споживачів, а усталене значення відхилення напруги може перевищувати номінальне більше ніж на 10 %. Виникають технічні проблеми експлуатації обладнання РЕМ та споживачів, які пов'язані із якістю електричної енергії СЕС.

В роботі [2] зауважується, що у РЕМ, де активно встановлюються та експлуатуються установки з ВДЕ, має місце погіршення ПЯЕ електричної енергії – понаднормове відхилення напруги на шинах підстанцій 10/0,4 кВ, спотворення синусоїдальної форми кривої напруги.

Одним із шляхів вирішення даної проблеми є вдосконалення системи автоматичного керування (САК) режимами роботи ВДЕ, які б враховували їх вплив на рівні напруги в РЕМ.

Задача створення таких САК безперечно є актуальною.

Мета роботи. Метою даної роботи є розробка нового підходу до автоматичного керування режимами розподільних електричних мереж з відновлюваними джерелами енергії, який дозволяє врахувати питання якості електричної енергії в таких мережах.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- формалізувати задачу керування режимами РЕМ з ВДЕ, який враховував би вплив якості електричної енергії;

- обґрунтувати вибір методу вирішення задачі керування, який би в найбільш повній мірі враховував вплив генерації потужності ВДЕ на ПЯЕ (усталене відхилення напруги).

Викладення основного матеріалу досліджень. Структурна схема комбінованої електроенергетичної системи (КЕС) зображена на рис. 1.

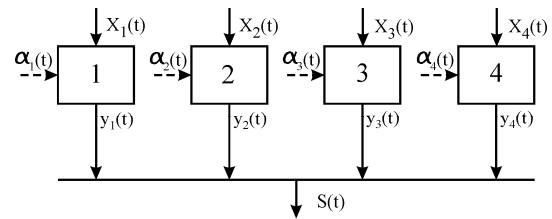


Рис. 1 – Комбінована електроенергетична система з відновлюваними джерелами енергії

На рис. 1: 1 – енергетична система, 2 – сонячна електрична станція, 3 – вітрова електрична станція, 4 – біоенергетична установка, $x_i(t)$ – вхідний сигнал i -того елемента, $y_i(t)$ – вихідний сигнал i -того елемента, $\alpha_i(t)$ – параметр системи керування активністю входу i -того елемента, $x(t) = (x_1(t), x_2(t), x_3(t), x_4(t))$ – простір вхідних сигналів; $y(t) = (y_1(t), y_2(t), y_3(t), y_4(t))$ – простір вихідних сигналів; $\alpha(t) = (\alpha_1(t), \alpha_2(t), \alpha_3(t), \alpha_4(t))$ – простір керуючих впливів; $S(t)$ – потреба в електричній енергії.

Енергетичні установки підключені до єдиної РЕМ на одному рівні напруги. Споживачі електричної енергії отримують живлення від РЕМ та ВДЕ. При цьому в залежності від поточного співвідношення між потужністю споживання і потужністю генерації установками із ВДЕ можливі наступні режими роботи:

1. Режим споживання електричної енергії від енергосистеми. Якщо потужність споживання навантаженням перевищує потужність генерації ВДЕ $P_{сп} > P_{вде}$, то від енергосистеми до РЕМ відбувається перетік активної потужності. Це переважний режим роботи, на який проектувалися РЕМ. При цьому вплив ВДЕ на усталене відхилення напруги мінімальний.

2. Режим генерації електричної енергії в енергосистему. Якщо потужність генерації ВДЕ перевищує потужність споживання навантаженням $P_{вде} > P_{сп}$, то спостерігається зворотний потік потужності від ВДЕ до енергосистеми, генерація потужності ВДЕ у енергосистему $P_{ген} = P_{вде} - P_{сп}$. У такому випадку для забезпечення передачі цієї потужності необхідно підвищити рівень напруги на шинах підключення ВДЕ до РЕМ. Це призводить до росту усталеного відхилення напруги на шинах підключення ВДЕ і, як наслідок, шинах споживачів. Чим більша потужність генерації ВДЕ у енергосистему і чим менші пропускна здатність РЕМ та споживання електричної енергії на локальному рівні, тим відхилення напруги буде вищим.

В роботах [3] запропоновано оптимальний закон керування роботою КЕС, де в якості критерію оптимізації пропонується використовувати мінімум вартості електричної енергії, яка споживається. У загальному випадку цільова функція математичної моделі має вигляд:

$$V(T) = \int_{t_0}^T \sum_{i=1}^n c_i y_i(t) dt \rightarrow \min \quad (1)$$

де $V(T)$ – цільова функція;

c_i – вартість електричної енергії від i -того джерела енергії,

$y_i(t)$ – вихідна потужність генерації i -тим джерелом;

$[t_0, T]$ – проміжок часу, для якого вирішується оптимізаційна задача.

Однак цей закон не враховує вплив ВДЕ на рівні напруг в РЕМ у режимі генерації потужності від ВДЕ до енергосистеми. Для врахування такого впливу задачу керування режимами генерації активної потужності ВДЕ найдоцільніше інтерпретувати як задачу багатокритеріальної оптимізації. Постановка такої задачі має наступний вигляд:

$$\begin{cases} Q_1 = -P(P_{\text{ген}}) \rightarrow \min; \\ Q_2 = 3_{\Delta U}(P_{\text{ген}}) \rightarrow \min; \\ P_{\text{ген}} \in [P_{\min} \dots P_{\max}], \end{cases} \quad (2)$$

де $Q(P_{\text{ген}}) = (Q_1(P_{\text{ген}}), Q_2(P_{\text{ген}}))$ – вектор критеріїв керування;

$P_{\text{ген}}$ – потужність, яка генерується ВДЕ у енергосистему;

$P(P_{\text{ген}})$ – прибуток від генерації потужності ВДЕ у енергосистему з урахуванням «зеленого тарифу»;

$3_{\Delta U}(P_{\text{ген}})$ – збитки, які виникають внаслідок перевищення усталеного значення відхилення напруги від номінального значення;

$[P_{\min} \dots P_{\max}]$ – область допустимих значень потужності $P_{\text{ген}}$.

Існує багато методів вирішення багатокритеріальної задачі оптимізації, які умовно можна поділити на наступні групи [4]: методи, засновані на накладенні обмежень на критерії; методи, засновані на лінійному згортанні критеріїв; методи, засновані на пошуку компромісного розв'язку; методи інтерактивного розв'язку;

Найбільш поширені наступні методи вирішення задачі багатокритеріальної оптимізації.

1. *Метод головного критерію* полягає в тому, що в якості цільової функції обирається один із критеріїв, а інші вводяться як обмеження. Обравши в якості головного критерію, наприклад $P(P_{\text{ген}})$ прибуток від генерації потужності ВДЕ у енергосистему з урахуванням «зеленого тарифу», задачу (2) можна записати у вигляді:

$$\begin{cases} Q_1 = -P(P_{\text{ген}}) \rightarrow \min; \\ Q_2 = 3_{\Delta U}(P_{\text{ген}}) \leq 3_{\Delta U \max}; \\ P_{\text{ген}} \in [P_{\min} \dots P_{\max}], \end{cases} \quad (3)$$

де $3_{\Delta U \max}$ – верхнє обмеження критерію $3_{\Delta U}(P_{\text{ген}})$;

Недоліком такого методу є ускладненість вибору головного критерію із множини критеріїв. Адже критерії знаходяться у протиріччі.

2. *Метод лінійного згортання* можна застосувати, якщо відома відносна важливість кожного з критеріїв. Він полягає в лінійному об'єднанні всіх критеріїв шляхом введення вагових коефіцієнтів.

$$\begin{cases} F_1(P_{\text{ген}}) = \sum_i^m e_i Q_i(P_{\text{ген}}) \rightarrow \min; \\ P_{\text{ген}} \in [P_{\min} \dots P_{\max}], \end{cases} \quad (4)$$

де $F_1(P_{\text{ген}})$ – цільова функція,

e_i – ваговий коефіцієнт для i -того джерела, що враховує, якість електричної енергії від різних ВДЕ.

Подібний підхід до керування режимами роботи КЕС з ВДЕ застосовується у роботі [5]. В даній роботі керуючі впливи пропонується визначати мінімізацією наступної цільової функції:

$$V(T) = \sum_{i=1}^m e_i c_i y_i(t) dt \rightarrow \min \quad (5)$$

Недоліком даного методу є складність визначення числових значень вагових коефіцієнтів для досягнення бажаного співвідношення критеріїв в точці оптимуму. Також нерідко спостерігається велика чутливість розв'язку відносно цих вагових коефіцієнтів.

3. *Мінімаксні (максимінні) методи* засновані на пошуку компромісного розв'язку. Для задачі (2) формулювання мінімаксного методу матиме вигляд:

$$\begin{cases} F_2(P_{\text{ген}}) = \max_{i=1, \dots, m} Q_i(P_{\text{ген}}) \rightarrow \min; \\ P_{\text{ген}} \in [P_{\min} \dots P_{\max}], \end{cases} \quad (6)$$

де $F_2(P_{\text{ген}})$ – цільова функція.

Недоліком даного методу розв'язку є неможливість отримання в точці оптимуму бажаного співвідношення між критеріями $Q_i(P_{\text{ген}})$.

4. *Адаптивний метод* заснований на використанні експертних оцінок. Експерту надається певна точка $P_{\text{ген}j}$ на парето-оптимальній множині розв'язків, і вказуються числові значення всіх критеріїв $Q_i(P_{\text{ген}})$ в цій точці. Експерт вирішує, по якому з критеріїв виконувати мінімізацію в конкретних умовах. В отриманій точці $P_{\text{ген}j+1}$ визначаються числові значення всіх критеріїв $Q_i(P_{\text{ген}})$ і знову надаються експерту і так далі до тих пір, доки експерт не зупиниться на розв'язку $P_{\text{ген}^*}$, який він визнає оптимальним.

Даний метод застосовується переважно для вирішення тих задач, які складно формалізувати. Системи автоматичного керування, що реалізують даний метод належать до класу експертних систем, недоліком яких є висока складність розробки.

Зважаючи на те, що задачу керування режимами роботи КЕС з ВДЕ можна формалізувати, наприклад, у вигляді задачі багатокритеріальної оптимізації (задача (2)) застосування даного методу для побудови САК режимами КЕС з ВДЕ є недоцільним.

5. *Метод наближення до утопічної (ідеальної) точки* [6] в просторі критеріїв дає можливість подолати невизначеність в обґрунтуванні важливості критеріїв $Q_i(P_{\text{ген}})$.

Під утопічною точкою слід розуміти точку $Q_{\text{ут}} = (Q_{1\min}, Q_{2\min})$, координатами якої є оптимальні (мінімальні) значення для кожного з критеріїв $Q_i(P_{\text{ген}})$.

Вирішення задачі багатокритеріальної оптимізації шляхом наближення до утопічної точки здійснюється за два кроки:

Крок 1. Шляхом визначення оптимального значення для кожного з критеріїв визначаються координати утопічної точки $Q_{\text{ут}} = (Q_{1\min}, Q_{2\min})$ в просторі критеріїв оптимізації $\{Q\} \subset R^m$.

Крок 2. Шляхом розв'язку задачі скалярної оптимізації відстані ρ від утопічної точки до парето-оптимальної множини розв'язків в просторі критеріїв знаходяться координати розв'язку задачі багато-

критеріальної оптимізації $P_{\text{ген}}^*$ в просторі керування $[P_{\text{min}} \dots P_{\text{max}}] \subset R^k$.

Вираз для визначення відстані ρ має вигляд:

$$\rho_{L^p} = \left(\sum_{i=1}^m |Q_i(P_{\text{ген}}) - Q_{\text{ут}i}|^p \right)^{\frac{1}{p}} \quad (7)$$

Для випадку $p = 2$ (евклідова відстань) знаходження кінцевого розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації (2) (крок 2) набуває вигляду:

$$\left\{ \begin{array}{l} F_3(P_{\text{ген}}) = \sqrt{\frac{(Q_1(P_{\text{ген}}) - Q_{\text{ут}1})^2}{\zeta_1} +} \\ + \frac{(Q_2(P_{\text{ген}}) - Q_{\text{ут}2})^2}{\zeta_2} \rightarrow \min; \\ P_{\text{ген}} \in [P_{\text{min}} \dots P_{\text{max}}], \end{array} \right. \quad (8)$$

де ζ_1 та ζ_2 – вагові коефіцієнти, що враховують відносну важливість кожного з критеріїв.

У випадку мінімізації евклідової відстані отримати бажане співвідношення критеріїв у точці оптимуму досить складно.

Геометрична інтерпретація розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації (2) методом наближення до утопічної точки для випадків мінімізації евклідової та чебишевської відстані зображена на графіку (рис. 2.), отриманому в результаті розрахунку числового тестового прикладу.

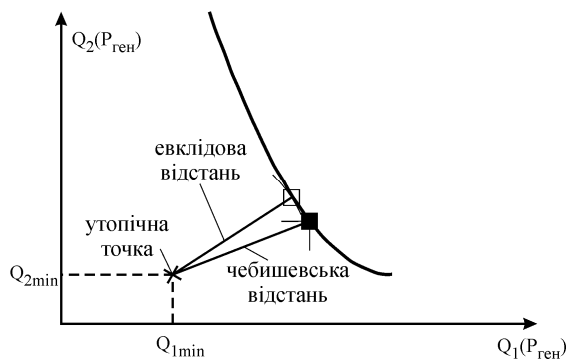


Рис. 2 – Геометрична інтерпретація розв'язку задачі

Для випадку $p \rightarrow \infty$ (чебишевська відстань) знаходження кінцевого розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації (2) (крок 2) набуває вигляду:

$$\left\{ \begin{array}{l} F_4(P_{\text{ген}}) = \max \left\{ \frac{Q_1(P_{\text{ген}}) - Q_{\text{ут}1}}{\zeta_1}, \right. \\ \left. \frac{Q_2(P_{\text{ген}}) - Q_{\text{ут}2}}{\zeta_2} \right\} \rightarrow \min; \\ P_{\text{ген}} \in [P_{\text{min}} \dots P_{\text{max}}], \end{array} \right. \quad (9)$$

Таким чином, у випадку мінімізації чебишевської відстані бажане співвідношення критеріїв у точці оптимуму однозначно визначається значеннями коефіцієнтів ζ_1 та ζ_2 . Тому застосування саме такого підходу до вирішення задачі багатокритеріальної оптимізації є найбільш доцільним.

Висновки. В результаті проведеного дослідження встановлено:

1. Для врахування впливу генерації потужності ВДЕ на рівні усталених відхилень напруги задачу керування режимами КЕС з ВДЕ найдоцільніше інтерпретувати як задачу багатокритеріальної оптимізації.

2. Проведений аналіз методів вирішення задачі багатокритеріальної оптимізації, встановлено, що найбільш доцільним методом розв'язку даної задачі є метод наближення до утопічної точки в просторі критеріїв.

3. Бажане співвідношення критеріїв в точці оптимуму однозначно визначається співвідношенням вагових коефіцієнтів ζ_1 та ζ_2 у випадку знаходження кінцевого розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації шляхом мінімізації чебишевської відстані від утопічної точки до множини парето-оптимальних розв'язків.

Список літератури

1. Лежнюк П. Д. Вплив сонячних електричних станцій на напругу споживачів 0,4 кВ / П.Д. Лежнюк, О.Є. Рубаненко, І.О. Гунько // Енергетика: економіка, технології, екологія: науковий журнал. – 2015. – № 3 (41). – С. 7–13.
2. Лежнюк П.Д. Вплив інверторів СЕС на показники якості електричної енергії в ЛЕС / П.Д. Лежнюк, О.Є. Рубаненко, І.О. Гунько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – №. 2. – С. 134–145.
3. Плишков С.П. Розробка математичної моделі оптимальних режимів вироблення та споживання енергії в комплексній електроенергетичній системі з відновлювальними джерелами енергії для сільськогосподарського виробництва / С.П. Плишков, В.Л. Солдатенко, А.Д. Федунець // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Випуск 87. «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» – Харків: ХНТУСГ, 2009. – С. 24–26.
4. Машунин Ю.К. Методы и модели векторной оптимизации / Ю.К. Машунин – М.: Наука, 1986. – 141 с.
5. Розен В.П. Оптимізація процесів вироблення електроенергії комбінованою електроенергетичною системою / В. П. Розен, Є.М. Іншеков, І.В. Калінчик // Енергетика. – 2013. – №. 1. – С. 20-26.
6. Зінзура В.В. Методи розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації регулювання напруги в електричних мережах / В. В. Зінзура // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. / – Вип. 25, Ч. 1 – Кіровоград: КНТУ, 2012. – С. 350-360.

References (transliterated)

1. Lezhniuk P. D., Rubanenko O. Ye., Hunko I. O. Vplyv soniachnykh elektrichnykh stantsii na napruhu spozhyvachiv 0,4 kV [Flush of sunny electric power stations on the spur of settling 0,4 kV] *Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia: naukovyi zhurnal*. [Energy: economics, technology, ecology: science journal] – 2015. – no. 3 (41). – pp. 7–13.
2. Lezhniuk P. D., Rubanenko O. Ye., Hunko I. O. Vplyv inverteriv SES na pokaznyky yakosti elektrichnoi enerhii v LES [Influence of solar power inverters on electrical energy quality in local electrical systems]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky* [Bulletin of the Khmelnytsky National University. Technical sciences.]. – 2015. – no. 2. – pp. 134–145.
3. Plishkov S. P., Soldatenko V. P., Fedunets A. D. Rozrobka matematychnoi modeli optymalnykh rezhymiv vyroblennia ta spozhyvannia enerhii v kompleksnii elektroenerhetychnii systemi z vidnovliuvalnymy dzherelamy enerhii dlia silskohospodarskoho vyrobnytstva [Development of mathematical model of optimal modes of production and consumption of energy in a complex electric power system with renewable energy sources for agricultural production] *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva im. P. Vasylenka*.

- [Bulletin of Kharkiv National Technical University of Agriculture named after P. Vasilenko.] vol. 87. – Kharkiv, 2009. – pp. 24–26.
4. Mashunyn Yu. K. Metody u modely vektornoї optymyzatsyy [Methods and models of vector optimization]. – Moscow, Nauka Publ, 1986. 141 p.
 5. Rozen V. P., Rozen V. P., Inshekov Ye. M., Kalinych I. V. Optymyzatsiia protsesiv vyroblennia elektroenerhii kombinovanoї elektroenerhetychnoї systemoї [Optimization of the processes of electricity generation by the combined power system] *Enerhetyka* [Energetics]. – 2013. – no. 1. – pp. 20-26.
 6. Zinzura V. V. Metody rozviazku zadachi bahatokryterialnoї optymyzatsii rehuliuвання napruhy v elektrychnykh mrezhakh [Methods of solving the problem of multicriteria optimization of voltage regulation in electric networks]. *Zbimyk naukovykh prats Kirovohradskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Tekhnika v silskohospodarskomu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia*. Vol. 25. Part.1 – Kirovohrad: KNTU, 2012. pp. 350-360.

Надійшла (received) 29.09.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Автоматичне керування режимами роботи комбінованої електроенергетичної системи з відновлюваними джерелами енергії / В. П. Солдатенко, С. П. Плешков // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. – Х. : НТУ "ХПІ", 2017. – № 34 (1256). – С. 66-70. Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2079-3944.

Автоматическое управление режимами работы комбинированной электроэнергетической системы с возобновляемыми источниками энергии / В. П. Солдатенко, С. П. Плешков // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. – Х. : НТУ "ХПІ", 2017. – № 34 (1256). – С. 66-70. Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2079-3944.

Automatic control of the operation modes of the combined electric power system with renewable energy sources / V. P. Soldatenko, S. P. Plieshkov // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Problems of Electrical Machines and Apparatus Perfection. – Kharkov : NTU "KhPI", 2017. – No 34 (1256). – P. 66-70. Bibliography: 6. – ISSN 2079-3944.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Солдатенко Валентин Петрович – Центральноукраїнський національний технічний університет, викладач кафедри електротехнічних систем та енергетичного менеджменту, м. Кропивницький, тел.: (0522) 39 04 61; e-mail: kirovograd41@gmail.com.

Солдатенко Валентин Петрович – Центральноукраїнський національний технічний університет, преподаватель кафедри електротехнічних систем и енергетического менеджмента, г. Кропивницкий, тел.: (0522) 39 04 61; e-mail: kirovograd41@gmail.com.

Soldatenko Valentyn Petrovych – Central Ukrainian National Technical University, Lecture at the Department of "Electrical systems and energy management", Kropyvnytskyi, tel.: (0522) 39 04 61; e-mail: kirovograd41@gmail.com.

Плешков Сергій Петрович – кандидат технічних наук, Центральноукраїнський національний технічний університет, доцент кафедри автоматизації виробничих процесів, м. Кропивницький, тел.: (0522) 39 04 61; e-mail: inbox@ets.kr.ua.

Плешков Сергей Петрович – кандидат технических наук, Центральноукраїнський національний технічний університет, доцент кафедри автоматизації виробничих процесів, г. Кропивницкий, тел.: (0522) 39 04 61; e-mail: inbox@ets.kr.ua.

Plieshkov Serhii Petrovych – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Central Ukrainian National Technical University, Associate Professor at the Department of "Automation of production processes", Kropyvnytskyi, tel.: (0522) 39 04 61; e-mail: inbox@ets.kr.ua.