

В.П. КАЛІНЧИК, В.А. ПОБИГАЙЛО, В.В. КАЛІНЧИК, В.Г. СКОСИРЕВ

УПРАВЛІННЯ РЕЖИМОМ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

В статті досліджуються методи управління режимами реактивної потужності. Показано, що забезпечення економічності передачі та розподілу електроенергії невіддільне від постановки та вирішення задач, пов'язаних із зниженням втрат електроенергії в мережах. Причому одним із найбільш ефективним способом зниження втрат електроенергії, а також підвищення її якості на затискачах електроприймачів є компенсація реактивної потужності, яка здійснюється за допомогою різних компенсуючих пристроїв. Показано, що управління режимом реактивної потужності здійснюється відповідно до Методики обчислення плати за перетікання реактивної енергії між електропередавальною організацією та її споживачами. Показано, що індикатором економічно вигідної величини рівня споживання реактивної енергії може бути $\cos \varphi$, величина якого попередньо задається. Процедура управління режимом реактивної потужності містить два основних етапи: етап визначення величини можливого зниження поточного $\cos \varphi$ над заданим та етап визначення та реалізації управляючих впливів, направлених на ліквідацію можливого відхилення. Переважно кращою представляється орієнтація на ті методи, які ґрунтуються на дослідженні прогнозних оцінок, що складають вихідну інформацію для прийняття рішень по управлінню. За основу для оперативного прогнозування електричного навантаження доцільно використовувати адаптивні методи експоненціального згладжування. Управління режимом реактивної потужності здійснюється за допомогою компенсуючих установок. Показано, що управління режимами напруги в системі електропостачання суттєво впливає на режими споживання реактивної потужності. В зв'язку з цим доцільне комплексне вирішення проблеми управління режимом реактивної потужності як за рахунок управління компенсуючими установками, так і впливу на режими напруги системи електропостачання. В розрахунковій моделі реактивне навантаження розподільної мережі задається своїми статичними характеристиками, які можуть бути основою для регулювання реактивного навантаження. Для здійснення регулювання в центрах живлення електричних мереж передбачаються технічні засоби на основі змінення коефіцієнта трансформації або генерації реактивної потужності шляхом зустрічного регулювання напруги.

Ключові слова: реактивна потужність, прогнозування, управління, перетікання реактивної енергії, зустрічне регулювання, статичні характеристики.

В.П. КАЛІНЧИК, В.А. ПОБИГАЙЛО, В.В. КАЛІНЧИК, В.Г. СКОСИРЕВ

УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМОМ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

В статье исследуются способы управления режимами реактивной мощности. Показано, что обеспечение экономичности передачи и распределения электроэнергии неотделимо от постановки и решения задач, связанных со снижением потерь электроэнергии в сетях. Причем одним из наиболее эффективных способов снижения потерь электроэнергии, а также повышения ее качества на зажимах электроприемников, является компенсация реактивной мощности, которая осуществляется с помощью различных компенсирующих устройств. Показано, что управление режимом реактивной мощности осуществляется в соответствии с Методикой вычисления платы за перетекание реактивной энергии между электропередающей организацией и ее потребителями. Показано, что индикатор экономической выгоды величины уровня потребления реактивной энергии может быть $\cos \varphi$, величина которого предварительно задается. Процедура управления режимом реактивной мощности содержит два основных этапа: этап определения величины возможного снижения текущего $\cos \varphi$ над заданным и этап определения и реализации управляющих воздействий, направленных на ликвидацию возможного отклонения. Предпочтительно предпочтительна ориентация на те методы, которые основываются на исследовании прогнозных оценок, составляющих исходную информацию для принятия решений по управлению. За основу оперативного прогнозирования электрической нагрузки целесообразно использовать адаптивные методы экспоненциального сглаживания. Управление режимом реактивной мощности осуществляется посредством компенсирующих установок. Показано, что управление режимами напряжения в системе электроснабжения оказывает существенное влияние на режимы потребления реактивной мощности. В этой связи целесообразно комплексное решение проблемы управления режимом реактивной мощности как за счет управления компенсирующими установками, так и влияния на режимы напряжения системы электроснабжения. В расчетной модели реактивная нагрузка распределительной сети задается своими статическими характеристиками, которые могут служить основой для регулирования реактивной нагрузки. Для регулирования в центрах питания электрических сетей предусматриваются технические средства на основе изменения коэффициента трансформации или генерации реактивной мощности путем встречной регулировки напряжения.

Ключевые слова: реактивная мощность, прогнозирование, управление, перетекание реактивной энергии, встречное регулирование, статические характеристики.

V.P. KALINCHUK, V.A. POBIGAYLO, V.V. KALINCHUK, V.G. SKOSIREV

REACTIVE POWER CONTROL

The article investigates the methods of control of reactive power modes. It is shown that ensuring the efficiency of electricity transmission and distribution is inseparable from setting and solving problems related to reducing electricity losses in networks. Moreover, one of the most effective ways to reduce electricity losses, as well as improve its quality at the terminals of electrical receivers is to compensate for reactive power, which is carried out using various compensating devices. It is shown that the control of the reactive power mode is carried out in accordance with the Methodology for calculating the fee for the flow of reactive energy between the power transmission organization and its consumers. It is shown that the indicator of economically advantageous value of the level of reactive energy consumption can be $\cos \varphi$, the value of which is predetermined. The procedure for controlling the reactive power mode contains two main stages: the stage of determining the magnitude of the possible reduction of the current $\cos \varphi$ above the set and the stage of determining and implementing control effects aimed at eliminating possible deviations. Preferably, it is preferable to focus on those methods that are based on the study of forecast estimates, which constitute the source information for management decisions. It is expedient to use adaptive methods of exponential smoothing as a basis for operative forecasting of electric loading. Reactive power mode is controlled by compensating units. It is shown that the control of voltage modes in the power supply system significantly affects the modes of reactive power consumption. In this regard, it is advisable to comprehensively solve the problem of reactive power control both by controlling the compensating units and the impact on the voltage regimes of the power supply system. In the calculation model, the reactive load of the distribution network is given by its static characteristics, which can be the basis for regulating the reactive load. To implement regulation in the power supply centers of electrical networks, technical means are provided on the basis of changing the transformation coefficient or generating reactive power by counter-voltage regulation.

Key words: reactive power, forecasting, control, reactive energy flow, counter regulation, static characteristics.

Вступ. Забезпечення економічності передачі та розподілу електроенергії невіддільне від постановки та вирішення задач, пов'язаних із зниженням втрат електроенергії в мережах. Одним із найбільш ефективним способом зниження втрат електроенергії, а також підвищення її якості на затискачах електроприймачів є компенсація реактивної потужності, яка здійснюється за допомогою різних компенсуючих пристроїв [1-4]. Задача компенсації реактивної потужності має два основних аспекти. Перший аспект охоплює питання проєктного характеру, другий – експлуатаційний і на сьогоднішній день представляється більш важливим. Метою функціонування систем управління реактивною потужністю є мінімізація втрат електричної енергії з урахуванням необхідності забезпечення заданих енергопостачальною компанією умов споживання реактивної потужності.

Постановка задачі управління режимом реактивної потужності. Відповідно до Методики обчислення плати за перетікання реактивної енергії між електропередавальною організацією та її споживачами [5], основна плата за спожиту і генеровану реактивну електроенергію визначається формулою

$$P = \sum_{i=1}^n (W_{QCP} + KW_{QG})DT \text{ (грн)}, \quad (1)$$

де n - число точок розрахункового обліку реактивної енергії; W_{QCP} - споживання реактивної енергії в точці обліку за розрахунковий період, кВАр*год.; W_{QG} - генерація реактивної енергії в мережу електропередавальної організації в точці обліку за розрахунковий період, кВАр*год.; $K=3$ - нормативний коефіцієнт урахування збитків енергосистеми від генерації реактивної електроенергії з мережі споживача; D - економічний еквівалент реактивної потужності (ЕЕРП), кВт/кВАр; T - фактична середня закупівельна ціна на електроенергію, що складалася за розрахунковий період (розраховується відповідно до нормативних документів НКРЕ), грн./кВт.год. Таким чином мінімальна плата за реактивну енергію буде тоді, коли W_{QCP} і W_{QG} будуть мінімальні (близькі до нуля). Проте досягти нульових значень споживання і генерації реактивної енергії практично не можливо, тому можна обмежитись деякою економічно вигідною величиною. Індикатором такої величини може бути $\cos \varphi_z$, величина якого попередньо задається.

Звідси випливає, що процедура управління режимом реактивної потужності пов'язана з контролем активної потужності.

Процедура управління режимом реактивної потужності містить два основних етапи: етап визначення величини можливого зниження поточного $\cos \varphi$ над заданим та етап визначення та реалізації управляючих впливів, направлених на ліквідацію можливого відхилення. Переважно кращою представляється орієнтація на ті методи, які ґрунтуються на дослідженні прогнозних оцінок, що складають вихідну інформацію для прийняття рішень по управлінню.

За основу для оперативного прогнозування електричного навантаження доцільно використовувати адаптивні методи експоненціального згладжування [5-9], що узгоджується із даними проведеного в роботі [9] аналізу різних методів оперативного прогнозування.

Процес споживання активної та реактивної енергії розглядається як модель лінійного росту, для опису

якої вибрано поліном виду

$$x_t = a_{0,t} + a_{1,t} \cdot t + \varepsilon_t$$

де $a_{0,t}$, $a_{1,t}$ – коефіцієнти поліному, ε_t – випадкові незалежні відхилення (“білий шум”).

Тоді, прогнозним значенням процесу буде

$$\hat{x}_\tau(t) = \hat{a}_{0,t} + \tau \hat{a}_{1,t}, \quad (2)$$

де $\hat{a}_{0,t}$, $\hat{a}_{1,t}$ – поточні оцінки коефіцієнтів поліному; τ – крок випередження ($\tau = 1, 2, 3, \dots$).

Оцінки коефіцієнтів $\hat{a}_{0,t}$ і $\hat{a}_{1,t}$ знаходяться

$$\hat{a} = \begin{bmatrix} \hat{a}_{0,t} \\ \hat{a}_{1,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2S_t^{[1]} - S_t^{[2]} \\ \alpha(S_t^{[1]} - S_t^{[2]}) \end{bmatrix}, \quad (3)$$

де $S_t^{[1]}$ та $S_t^{[2]}$ – експоненціальні середні; α – постійна згладжування ($0 < \alpha < 1$); $\beta = 1 - \alpha$.

З урахуванням сказаного модель прогнозування електроспоживання представляється у вигляді

$$\hat{E}_\tau^T = \hat{x}_\tau(t) = \left(2 + \frac{\alpha}{\beta} \tau\right) S_t^{[1]} - \left(1 + \frac{\alpha}{\beta} \tau\right) S_t^{[2]}, \quad (4)$$

в якій експоненціальні середні $S_t^{[1]}$ та $S_t^{[2]}$ знаходяться із виразу

$$\left. \begin{aligned} S_t^{[1]} &= \alpha x_t + \beta S_{t-1}^{[1]}; \\ S_t^{[2]} &= \alpha S_t^{[1]} + \beta S_{t-1}^{[2]} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

де x_t - останнє значення ряду.

Початкові умови $S_0^{[1]}$ та $S_0^{[2]}$ визначаються через початкові значення вектору \hat{a}

$$\left. \begin{aligned} S_0^{[1]} &= \hat{a}_{0,0} - \frac{\beta}{\alpha} \hat{a}_{1,0}; \\ S_0^{[2]} &= \hat{a}_{0,0} - 2 \frac{\beta}{\alpha} \hat{a}_{1,0}. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Оцінки параметрів моделі $\hat{a}_{0,0}$ та $\hat{a}_{1,0}$ по n точках знаходяться із виразу

$$\left. \begin{aligned} \hat{a}_{0,0} &= \frac{2(2n+1)}{n(n-1)} \sum_{t=1}^n x_t - \frac{6}{n(n-1)} \sum_{t=1}^n t x_t; \\ \hat{a}_{1,0} &= \frac{12}{n(n^2-1)} \sum_{t=1}^n t x_t - \frac{6}{n(n-1)} \sum_{t=1}^n x_t \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Якість розглянутої моделі прогнозування суттєво залежить від вибору постійної згладжування α . З одного боку, для збільшення ваги пізніших спостережень необхідно підвищувати значення постійної α . З іншого боку, для зменшення впливу відхилень постійна α повинна бути малою. Це протиріччя усувається шляхом адаптації постійної згладжування α [10].

Постійна згладжування α визначається як модуль сигналу слідкування

$$\alpha(t) = \left| \frac{Q_t}{\Delta_t} \right| \quad (8)$$

де Q_t - згладжена похибка прогнозу, Δ_t - згладжене абсолютне відхилення

$$\left. \begin{aligned} Q_t &= \gamma e_t + (1 - \gamma) Q_{t-1}; \\ \Delta_t &= \gamma |e_t| + (1 - \gamma) \Delta_{t-1} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

де e_t - похибка прогнозу, γ - постійна згладжування ($0 < \gamma < 1$)

Початкові умови

$$\left. \begin{aligned} Q_0 &= 0; \\ \Delta_0 &= 2 \sqrt{\frac{\hat{D}(\varepsilon)}{\pi(2-\alpha)}} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

де $\hat{D}(\varepsilon)$ - початкова оцінка дисперсії похибки.

Стратегія такої адаптації ґрунтується на тому, що збільшення постійної згладжування α здійснюється при збільшенні сигналу слідкування, в результаті чого підвищується вага останнього значення ряду.

В запропонованій моделі прогнозування параметрів електроспоживання перші n точок ряду використовуються для визначення початкових умов із виразів (6), (7), (10). Далі модель "повертається" у вихідну точку і виконується прогнозування з інтервалом випередження на один крок з метою адаптації постійної α . Експериментальні дослідження показали, що модель адаптується до реальних даних вже на $4 \div 6$ кроці прогнозування і далі похибка прогнозу не перевищує 2 % [5-8]. Тому період контролю T розбивається на два інтервали: інтервал адаптації моделі прогнозування Θ та інтервал управління ($T - \Theta$). Крок управління $\Delta t = T/N$ (N - число кроків управління в період T). На перших $n = N - \tau$ кроках виконується адаптація постійної α , а на останніх τ кроках виконується управління електроспоживанням.

Починаючи з першого кроку управління (в інтервалі $T - \Theta$) по формулі (4) визначається прогнозна величина активного $\hat{W}_{\text{РСП}}^T$ та реактивного $\hat{W}_{\text{QСП}}^T$ електроспоживання до кінця періоду контролю T . Визначається величина прогнозованої економічно вигідної величини реактивного електроспоживання як

$$W_{\text{QСП доп}} = \hat{W}_{\text{РСП}}^T * \cos \varphi_3. \quad (11)$$

Необхідність дії на режим реактивної потужності виникає в тому випадку коли

$$\hat{W}_{\text{QСП}}^T - W_{\text{QСП доп}} > 0, \quad (12)$$

де $\hat{W}_{\text{QСП}}^T$ – прогнозне до кінця періоду T значення реактивного електроспоживання; $W_{\text{QСП доп}}$ – допустиме значення, яке визначається на основі заданого $\cos \varphi_3$.

Управління режимом реактивної потужності здійснюється за допомогою компенсуючих установок (КУ в основному – конденсаторних батарей). Проте в мережі промислового підприємства може бути регулювання активного електроспоживання зміною напруги, що необхідно враховувати при управлінні компенсуючими установками. Як показують дослідження [11-13] управління режимами напруги в системі електропостачання (СЕ) суттєво впливає на режими споживання реактивної потужності.

В зв'язку з цим доцільне комплексне вирішення проблеми управління режимом реактивної потужності як за рахунок управління КУ, так і впливу на режими напруги СЕ.

Змінення напруги як засіб регулювання реактивного навантаження. В розрахунковій моделі реактивне навантаження розподільної мережі задається своїми статичними характеристиками

$$Q = F(U, \varpi). \quad (13)$$

Вираз (13) часто апроксимується поліномом виду [14]

$$Q = 1 - a_q - b_q - c_q + a_q U + b_q U^2 + c_q \varpi, \quad (14)$$

коефіцієнти a_q, b_q, c_q - постійні.

Регулюючий ефект реактивного навантаження по напрузі при постійній частоті k_{qU} досить повно характеризує зміни навантаження при малих відхиленнях напруги. Із визначення регулюючого ефекту випливає, що у виразі (14)

$$a_q + 2b_q = k_{qU}, c_q = k_q. \quad (15)$$

Розв'язання задачі формування статичних характеристик можливе двома способами: через здійснення активних експериментів та основі інтегрування статичних характеристик окремих споживачів. Орієнтація на другий спосіб можлива при обмеженому числі різнотипних електроприймачів. Тому в даній роботі статичні характеристики будемо отримувати через здійснення експериментів.

Регулювання напруги розподільних мереж можна здійснювати шляхом змінення коефіцієнтів трансформації силових трансформаторів; ступеня збудження вольтдобавочних уставок; шляхом обмеження перетоків потужності; подовжньою компенсацією.

В залежності від того, на якому рівні мережі використовують технічні засоби регулювання напруги, їх можна віднести:

а) до засобів централізованого регулювання напруги, які дозволяють а) до засобів централізованого регулювання напруги, які дозволяють змінювати рівень напруги на шинах центрів живлення (головні понижуючі підстанції – ГПП, центральні розподільчі пункти – ЦРП);

б) до засобів місцевого регулювання напруги, якими забезпечуються розподільчі мережі, як правило, промислових підприємств (трансформаторні підстанції – ТП, розподільчі пункти – РП).

Для здійснення регулювання в центрах живлення електричних мереж передбачаються технічні засоби на основі змінення коефіцієнта трансформації або генерації реактивної потужності шляхом зустрічного регулювання напруги [15].

Рекомендується [15] пониження напруги на 5 ... 10 %. Ефективним способом досягнення цього є використання засобів регулювання напруги під навантаженням (РПН), якими забезпечуються силові трансформатори. РПН забезпечують регулювання в межах 12 % ($8 \times 1,5$ %) для напруги 35 кВ та 16 % ($9 \times 1,78$ %) – для напруги 110 кВ та вище.

Для регулювання напруги в центрах живлення застосовують також синхронні компенсатори або конденсаторні установки [15-17]. Батарею конденсаторів (БК) включають по поперечній або по подовжній схемі. Для ступінчатого регулювання БК розбивають на окремі секції, які включають або відключають комутаційною апаратурою.

Для місцевого регулювання напруги застосовуються: лінійні регулятори; конденсаторні установки; розподільні трансформатори з РПН [14]. Лінійні регулятори використовують для незалежного регулювання напруги для частини споживачів аналогічно як для ЦРП. Ефективність лінійних регуляторів особливо проявляється в мережах великої довжини з дротами малого перетину.

Висновки

1. Одним із найбільш важливих напрямків підвищення техніко-економічної ефективності компенсації реактивної потужності в електричних мережах є реалізація диференційованого контролю за режимами реактивної потужності та управління КУ.

2. Показано, що доцільними є управління режимом реактивної потужності як за рахунок управління конденсаторними батареями, так і за рахунок впливу на режими напруги системи електропостачання.

3. В розрахунковій моделі навантаження мережі задається статичними характеристиками.

Список літератури

- 1 Железко Ю.С. *Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии*. Москва: Энергоатомиздат, 1985. 224 с.
- 2 Пекелис В.Г. *Перспективы применения поперечной емкостной компенсации в электрических сетях энергосистем и промышленных предприятий*. Минск: БелНИИИТИ, 1984. 48 с.
- 3 Воротничкий В.Э., Железко Ю.С., Казанцев В.Н. и др. *Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем*. Москва: Энергоатомиздат, 1983. 368 с.
- 4 Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов ЭНАС. 2013. 456 с.
- 5 Методика обчислення плати за перетікання реактивної електроенергії. Наказ по Міненерго України. 30.11.2020 № 764. [Електронний ресурс]. 2021. 18 с. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0109-21#Text>
- 6 Праховник А.В., Розен В.П., Дегтярев В.В. Энергосберегающие режимы электроснабжения горнодобывающих предприятий. М.: Недра, 1985. 232 с.
- 7 Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов: Учеб. пособие. М.: Финансы и статистика, 2003. 416 с.
- 8 Прогнозирование показателей энергопотребления, генерации и стоимости полученной энергии/ Калинин В.П., Кокорина М.Т.: НТУУ „КПИ” Н.-и. ин-т автоматки и энергетки «Энергия». Киев, 2013. 14 с.: ил. – Библиогр.: 7 назв. – Рус. – Деп. в ГНТБ Украины 22.07.13, № 35– Ук 2013.
- 9 Калинин В.П., Буравльова М. Т., Калинин В.В., Скосирев В.Г. Прогнозування показників енергоспоживання, генерації і вартості отриманої енергії. Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. 2020. - Том 31 (70) № 2, Частина 1. – С.243-249.
- 10 Trigg D.W., Leach A.G. Exponential smoothing with an adaptive response rate // Oper. Res. Quart. – 1967. – Vol. 18. – No. 1.
- 11 Автоматизированная система оперативно-диспетчерского управления электроэнергетическими системами / О.Н.Войтов, Н.В. Воронов, А.З. Тамм и др. Под ред. М.Н.Розанова и В.А. Семенова. - Новосибирск: Наука, 1986. 205 с.
- 12 А.с. № 1334269. Способ управления потреблением электроэнергии предприятия / Праховник А.В., Кудовбенко К.П., Калинин В.П. - Оpubl. в Б.И., - 1987, - № 32.
- 13 Маркушевич Н.С. Регулирование напряжения и экономия электроэнергии. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 100 с.
- 14 Гуревич Ю.Е., Либова Л.Е., Хачатрян Э.А. Устойчивость нагрузки электрических систем. – М.: Энергоиздат, 1981. – 234с.
- 15 Петренко Л.И. Электрические сети и системы. – К.: Вища школа, 1981.–380 с.
- 16 Жежеленко И.В., Рабинович М.Л., Божко В.М. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях. – К.: Техніка, 1981. – 220 с.
- 17 Лежнюк, П. Д., О. М. Нанака. Формування умов оптимальності компенсації реактивної потужності в електричних мережах споживачів і енергопостачальних компаній : монографія – Вінниця:

ВНТУ, 2015. – 148 с.

References (transliterated)

- 1 Zhelezko Ju.S. *Kompensacija reaktivnoj moshhnosti i povyshenie kachestva jelektroenergii*. Moscow: Energoatomizdat, 1985. 224 p.
- 2 Pekelis V.G. *Perspektivy primeneniya poperechnoj emkostnoj kompensacii v jelektricheskikh setjah jenergosistem i promyshlennykh predpriyatij*. Minsk: BelNIINTI, 1984. 48 p.
- 3 Poteri jelektroenergii v jelektricheskikh setjah jenergosistem / V.Je. Vorotnickij, Ju.S. Zhelezko, V.N.Kazancev i dr. Moscow: Energoatomizdat. 1990. Pp.50-51.
- 4 Zhelezko, Ju.S. Poteri jelektroenergii. Reaktivnaja moshhnost'. *Kachestvo jelektroenergii: Rukovodstvo dlja prakticheskikh raschetov JeNAS*. 2013. 456 p.
- 5 Metodika obchislennâ plati za peretikannâ reaktivnoï elektroenergii. *Nakaz po Minenergo Ukraïni*. 30.11.2020, 764. [Elektronnij resurs]. 2021. 18 p. Režim dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0109-21#Text>
- 6 Prahovnik A.V., Rozen V.P., Degtjarev V.V. *Jenergosberegajushhie rezhimy jelektrosnabzhenija gornodobyvajushhijh predpriyatij*. Moscow: Nedra, 1985. 232 p.
- 7 Lukashin Ju.P. *Adaptivnye metody kratkosrochnogo prognozirovanija vremennyh rjadov: Ucheb. posobie*. Moscow: Finansy i statistika, 2003. 416 p.
- 8 Kalinchik V.P., Kokorina M.T. *Prognozirovanie pokazatelej jenergotrebleniya, generacii i stoimosti poluchЕННОj jenerгии: NTUU „KPI” N.-i. in-t avtomatiki i jenergetiki «Jenergiya»*. Dep. v GNTB Ukrainy 22.07.13, 35, Kiev, 2013. 14 p.
- 9 Kalinchyk V.P., Burav'lova M. T., Kalinchyk V.V., Skosyrev V.H. *Prohnozuvannâ pokaznykiv enerhospozhyvannâ, heneratsii i vartosti otrymanoï enerhiï. Vcheni zapysky Tavriis'koho natsional'noho universytetu imeni V.I. Vernads'koho. Seriiâ: tekhnichni nauky*. 2020. Tom 31 (70), 2, Chastyna 1. Pp. 243-249.
- 10 Trigg D.W., Leach A.G. *Exponential smoothing with an adaptive response rate*. Oper. Res. Quart. 1967. Vol. 18. No. 1.
- 11 *Avtomatizirovannaja sistema operativno-dispatcherskogo upravlenija jelektroenergeticheskimi sistemami / O.N.Vojtov, N.V. Voronov, A.Z. Tamm i dr. Pod red. M.N.Rozanova i V.A. Semenova*. Novosibirsk: Nauka, 1986. 205 p.
- 12 А.с. № 1334269. *Sposob upravlenija potrebleniem jelektroenergii predpriyatija*. Prahovnik A.V., Kudovbenko K.P., Kalinchik V.P. Opubl. v B.I., 1987, No 32.
- 13 *Markushevich N.S. Regulirovanie naprjazhenija i jekonomija jelektroenergii*. Moscow: Energoatomizdat, 1984. 100 p.
- 14 *Gurevich Ju.E., Libova L.E., Hachatryan Je.A. Ustojchivost' nagruzki jelektricheskikh sistem*. Moscow: Energoizdat, 1981. 234 p.
- 15 *Petrenko L.I. Jelektricheskie seti i sistemy*. Kyiv: Vishha shkola, 1981. 380 p.
- 16 *Zhezhenko I.V., Rabinovich M.L., Bozhko V.M. Kachestvo jelektroenergii na promyshlennykh predpriyatijah*. Kyiv: Tehnika, 1981. 220 p.
- 17 *Lezhnyuk P. D., Nanaka O. M. Formuvannia umov optimalnosti kompensacii reaktivnoï potuzhnosti v elektrychnykh merezakh spozhyvachiv i enerhopostachalnykh kompanii : monohrafiia Vinnytsia : VNTU, 2015. 148 p.*

Надійшла (received) 09.09.2021

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Калинчик Василь Прокопович (Калинчик Василий Профьевич, Kalinchyk Vasyl Prokopovich) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет України КПІ ім. Ігоря Сікорського, доцент кафедри електропостачання; м. Київ, тел.: (067) 209-87-26.

Побігайло Віталій Анатолійович (Побигайло Виталий Анатольевич, Pobigaylo Vitaliy Anatolievich) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет України КПІ ім. Ігоря Сікорського, доцент кафедри електропостачання; м. Київ; тел.: (097) 308-88-95. e-mail: pobigaylo@gmail.com.

Калинчик Віталій Васильович (Калинчик Виталий Васильевич, Kalinchyk Vitaliy Vasilovich) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет України КПІ ім. Ігоря Сікорського, доцент кафедри охорони праці та промислової життєдіяльності; м. Київ, тел.: (067) 209-87-26.

Скосирев Віктор Георгійович (Скосырев Виктор Георгиевич, Skosyrev Viktor Heorhiiovych) – кандидат технічних наук, доцент кафедри систем автоматизації та електроприводу Державного вищого навчального закладу «Приазовський державний технічний університет», тел.: (067) 209-87-26