

УДК 621.371: 621.314.4

О.І. Дорошенко, канд., техн. наук
К.С. Гусак,
О.В. Романюк

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ РЕАКТИВНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ НА ВИТОК ЇЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

***Анотація.** Пропонується оригінальний спосіб розрахунку економічного збитку електроенергетичної системи від її надлишкового реактивного навантаження, який базується на фізиці електромагнітного поля такої системи і забезпечує можливість достатньо простого достеменного визначення вартості пристроїв компенсації такого навантаження.*

***Ключові слова:** електроенергетична система, реактивне навантаження, мінімізація втрат енергії в електроенергетичних системах.*

А.И. Дорошенко, канд., техн. наук
К.С. Гусак,
Е.В. Романюк

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕАКТИВНОЙ НАГРУЗКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ПОТЕРИ ЕЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

***Аннотация.** Предлагается оригинальный способ расчета экономического ущерба электроэнергетической системы от ее избыточной реактивной нагрузки, который базируется на физике электромагнитного поля такой системы и обеспечивает возможность достаточно простого достоверного определения стоимости устройств компенсации такой нагрузки.*

***Ключевые слова:** электроэнергетическая система, реактивная нагрузка, минимизация потерь энергии в электроэнергетических системах.*

A. I. Doroshenko, PhD., tech. Sciences
K. S. Husak,
A. V. Romanyuk

TO DETERMINE THE EFFECT OF REACTIVE LOADS POWER SYSTEM TURN ON HER POWER

***Abstract.** We propose an original method of calculating the economic damage of the electric power system from excessive reactive load, which is based on physics of the electromagnetic field of the system and allows a sufficiently accurate simple definition of the cost of the compensation devices such loads.*

***Keywords:** electric power system, reactive load, minimization of energy losses in electrical power systems.*

Вступ. Дякуючи свої мобільності і універсальності, електрична енергія (електроенергія) займає перше місце серед усіх її видів у різних сферах людської діяльності і, перш за все, у промисловості. Саме тому електроенергетика стала основою для створення і успішного розвитку всіх галузей господарства будь-якої країни, з будь-яким економічним і політичним устроєм.

Електроенергію виробляють промисловим способом (у великих обсягах і, помірковано, недорого), переробляючи для цього енергоресурси на електростанціях електроенергетичних систем (ЕЕС), які є технологічними підрозділами електроенерге-

тики.

Очевидно, що економне споживання електроенергії в системах електропостачання промислових підприємств будь-якої галузі промисловості України можна розглядати у якості дієвого зменшення обсягу спожитих енергоресурсів, що є важливим фактором для вирішення задачі державного стратегічного рівня. Безумовно, рішення такої задачі потребує необхідності Державного контролю за економним використанням електроенергії, який спирається на фізично обґрунтовану методику виконання математичних розрахунків, зрозумілу споживачам електроенергії.

Об'єктом дослідження цієї роботи є сис-

тема електропостачання (СЕП) конкретного промислового споживача електроенергії, яка є підсистемою ЕЕС, а мета цього дослідження – розроблення наукової бази для створення згаданої методики.

Аналіз відомих рішень. Як відомо, з теоретичних основ електротехніки, фізично, електрична енергія (електроенергія) є енергією електромагнітного поля електроенергетичної системи (ЕЕС) – її електромагнітною енергією. При цьому, в [1, с.640] стверджується: «...Электромагнитная энергия от места ее генерирования передается к месту потребления по диэлектрику (*провода же в линиях передачи выполняют двоякую роль: они являются каналами, по которым проходит ток, и организаторами структуры поля в диэлектрике*)...».

Як відомо, електромагнітним полем в електроенергетиці називається такий стан матеріального середовища ЕЕС, за якого у ньому починають діяти електричні і магнітні сили. Очевидно, що таке можливе лише у діелектричному середовищі, яке оточує усі струмоведучі частини системи і, на відміну від них, за твердженням [2] є електрично пружним.

Як відомо, енергія електромагнітного поля визначається теоремою Пойтинга, за формулою, $\text{ВА}/\text{м}^2$

$$\vec{P} = \vec{E} \times \vec{H}, \quad (1)$$

де \vec{E} - вектор напруженості умовного електричного поля (дія сил Кулона), $\text{В}/\text{м}$; \vec{H} - вектор напруженості умовного магнітного поля (за даним [3], дія сил Кариоліса), $\text{А}/\text{м}$.

Зважаючи на тотожність $\vec{E} \equiv \vec{U}$ та $\vec{H} \equiv \vec{I}$, формулу (1) можна представити у вигляді, кВА

$$\begin{aligned} s &= u \cdot i = U_m \sin \varphi \cdot I_m \sin(\omega t - \varphi) = \\ &= \sqrt{2}U \sin \varphi \cdot \sqrt{2}I \sin(\omega t - \varphi) = \\ &= 2UI(\sin \varphi \cdot \sin(\omega t - \varphi)) = \\ &= UI(\cos \varphi - \cos(2\omega t - \varphi)), \end{aligned} \quad (2)$$

де u - миттєве значення синусоїдальної напруги, кВ ; i - миттєве значення синусоїдального струму провідності, що відстає від синусоїдальної напруги на фазовий кут φ , А ; U_m - амплітудне значення згаданої напруги, кВ ; I_m - амплітудне значення згаданого струму, А ; U - діюче значення згаданої напруги, кВ ; I - діюче значення згаданого струму, А .

Рівняння (2) можна вважати математичною моделлю математичного поля ЕЕС. На рис.1 наведено його графічне рішення у математичному середовищі **MATHCAD** за умови $U = 8 \text{ В}$ та $I = 5 \text{ А}$.

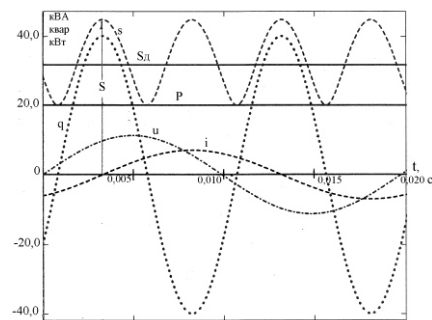


Рис.1. Математична модель електромагнітного поля ЕЕС

Приймаючи до уваги відоме співвідношення $\cos(2\omega t - \varphi) = \sin \varphi$, рівняння (2), за звичай представляють у вигляді, кВА

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad (3)$$

де P - поздовжна складова енергії електромагнітного поля ЕЕС – активна електроенергія, яка передається, завжди, тільки до споживачів (на рис.2 незмінне – діюче значення, кВт ; Q - поперечна (до напрямку передачі активної електроенергії) складова енергії електромагнітного поля ЕЕС – реактивна електроенергія, яка передається, завжди, тільки у середину струмоведучих частин системи (на рис.2 змінюється з подвійною частотою від нуля до амплітудного значення), кВар .

Результати дослідження. Як було доведено вище, математична модель електромагнітного поля за формулою (2) має похибку, обумовлену заміною фізичного процесу іс-

нування його математичним описом. Зважаючи на те, що ліва частина рівняння (2) – синусоїда, а права є перетвореною косинусоїдою, його можна представити у вигляді функції $\sin x = f(\cos x)$. Таку залежність, побудовано за допомогою математичного середовища MATCAD і представлено на рис.2.

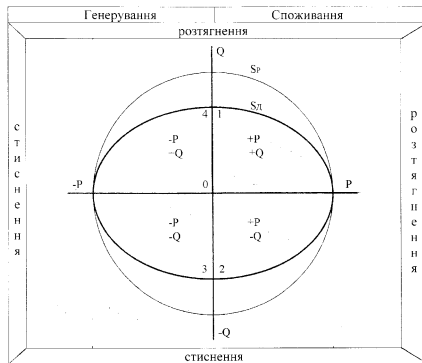


Рис.2. Реально-математична модель електромагнітного поля ЕЕС

За такого моделювання електромагнітного поля ЕЕС і СЕП конкретного споживача електроенергії можна визначати:

Амплітудне значення повної його потужності, кВА

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (4)$$

де P_p - середньо виважене значення активної потужності споживача визначене за даними комерційного обліку електроенергії у розрахунковому періоді, кВт; Q_p - середньо виважене значення реактивної потужності споживача визначене за даними комерційного обліку електроенергії у розрахунковому періоді, квар.

При цьому, у залежності від параметрів складових енергії електромагнітного поля ЕЕС, можна розглядати чотири квадранти моделі його існування. Очевидно, квадранти 1 та 2 відповідають режиму передавання енергії споживачеві (активна складова поля позитивна), а квадранти 3 та 4 – режиму генерації (активна складова поля негативна).

Як відомо, таке відповідає режиму енергії реальної пружини: пружину розтягнуто – енергія вважається спожитою, її стиснено –

енергія є згенерованою. Як було доведено в [4], умовну пружину діелектричного середовища ЕЕС одночасно стискає напруга струмоведучих частин системи, і розтягує струм їх провідності.

Зазвичай, електропередачі працюють з відстаючим від напруги їх струмоведучих частин струмом провідності, що відповідає режиму квадранта 1 моделі рис.2.

На рис.3 наведено реально-математичну модель електромагнітного поля електропередачі до СЕП конкретного споживача електроенергії.

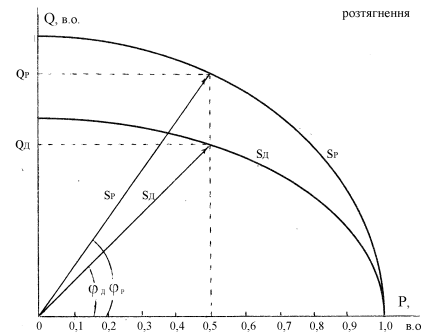


Рис.3. Модель електромагнітного поля електропередачі

Діюче значення повної його потужності, кВА

$$S_d = \sqrt{P_p^2 + (Q_p/\sqrt{2})^2} = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2/2} \quad (5)$$

Зважаючи на те, що провідне середовище не є пружним – у ньому електромагнітного поля, фізично бути не може, [2]. Але, через явище електромагнітної індукції у ньому створюється електрорушійна сила самоіндукції ЕРС), яка утворює струм самоіндукції – реактивний струм, як реакцію електричного кола на власне електромагнітне поле. Саме тому поперечна складова електромагнітного поля ЕЕС одержала назву реактивної енергії.

Як відомо, величина ЕРС визначається за відомою формулою, од.

$$E = -L \frac{di}{dt}, \quad (6)$$

де L - індуктивність електричного кола струму провідності струмоведучих частин

ЕЕС, як властивості, якої вони набувають через можливість руху їх вільних електронів, що створюють струм провідності, за спіральною траєкторією, Гн; $\partial i/\partial t$ - швидкість руху вільних електронів, яка визначається їх кутовою швидкістю, яка визначається відомою формулою, $1/c$

$$\omega = 2\pi f, \quad (7)$$

де f - частота зміни напруги за синусоїдальною кривою, Гц.

За струму індуктивного характеру (він відстає за фазою від напруги) ЕРС має негативний характер і називається втратою напруги, яку визначають за відомою формулою, В

$$\Delta U = E = -\omega \cdot L \cdot I_L = -X_L \cdot I_L, \quad (8)$$

де X_L - умовний реактивний опір струмоведучих частин ЕЕС, Ом; I_L - діюче значення струму провідності струмоведучих частин ЕЕС, що відстає за фазою від напруги, А.

При цьому, загальна втрата напруги електропередачі від потужності її повного навантаження визначається за відомою формулою, кВ

$$\Delta U = \frac{P_p \cdot R_E + Q_D \cdot X_E}{U_{НОМ}} \cdot 10^{-3}, \quad (9)$$

де $P_p = P_D$ - розрахункова активна потужність електропередач, кВт; $Q_D = Q_p / \sqrt{2}$ - діюче значення реактивної потужності електропередачі, квар; R_E - еквівалентний активний опір електропередачі, приведений до її номінальної напруги, Ом; X_E - еквівалентний реактивний опір електропередачі, приведений до її номінальної напруги, Ом.

Рівняння (9) можна представити у вигляді, кВ

$$\begin{aligned} \Delta U &= \frac{P_p R_E \cdot 10^{-3}}{U_{НОМ}} + \frac{Q_D X_E \cdot 10^{-3}}{U_{НОМ}} = \\ &= \Delta U_A + \Delta U_P, \end{aligned} \quad (10)$$

де ΔU_A - втрати напруги струмоведучих частин електропередачі тільки від її активного навантаження, кВ; ΔU_P - втрати напруги струмоведучих частин електропередачі тільки від її реактивного навантаження, кВ.

Приймаючи за умовну одиницю ΔU_A , формулу (10) можна представити у вигляді, в.о.

$$\begin{aligned} \Delta U^* &= \frac{\Delta U_A}{\Delta U_A} + \frac{\Delta U_P}{\Delta U_A} = 1 + \frac{X_E}{R_T} \cdot \text{tg} \varphi_D = \\ &= 1 + a_M \cdot \text{tg} \varphi_D, \end{aligned} \quad (11)$$

де a_M - характеристичний коефіцієнт електропередачі, який визначається в [5] для її типових схем, в.о.; $\text{tg} \varphi_D$ - діюче значення середньо виваженої, у розрахунковому періоді, величини коефіцієнта реактивного навантаження електропередачі, що визначається за формулою в.о.

$$\text{tg} \varphi_D = \frac{WQ_p}{\sqrt{2} \cdot WP_p}; \quad (12)$$

WP_p - виток активної електроенергії електропередачі у розрахунковому періоді, зафіксованого комерційним обліком електроенергії кВт·г; WQ_p - виток реактивної електроенергії електропередачі у розрахунковому періоді, зафіксованого комерційним обліком електроенергії квар·г.

Графічно, залежність за формулою (11) представлено на рис.4.

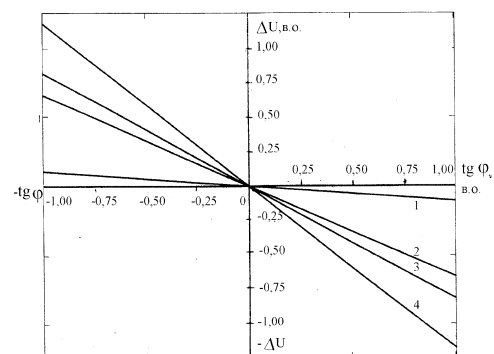


Рис.4. Залежність $\Delta U^* = f(\text{tg} \varphi_D)$:

- 1 – $U_{НОМ} = 6$ кВ; 2 – $U_{НОМ} = 10$ кВ;
- 3 – $U_{НОМ} = 35$ кВ; 4 – $U_{НОМ} = 110$ кВ

Відомо, що втрати активної потужності електропередачі визначаються за відомою формулою, кВт

$$\Delta P = \frac{P_p^2 + Q_D^2}{U_{НОМ}^2} \cdot R_E \cdot 10^{-3} = \frac{P_p^2 \cdot R_E}{U_{НОМ}^2} \cdot 10^{-3} + \frac{Q_D^2 \cdot R_E}{U_{НОМ}^2} \cdot 10^{-3} = \Delta P_A + \Delta P_P, \quad (13)$$

де ΔP_A - втрати активної потужності в струмоведучих частин електропередачі тільки від її активного навантаження, кВт; ΔP_P - втрати активної потужності в струмоведучих частин електропередачі тільки від її реактивного навантаження, кВт.

Приймаючи за умовну одиницю ΔP_A , формулу (12) можна представити у вигляді, в.о.

$$\Delta P^* = \frac{\Delta P_A}{\Delta P_A} + \frac{\Delta P_P}{\Delta P_A} = 1 + \frac{Q_D^2}{P_p^2} = 1 + tg\varphi_D^2. \quad (14)$$

Графічно, залежність за формулою (14), у процентах від P_p , представлено на рис.5.

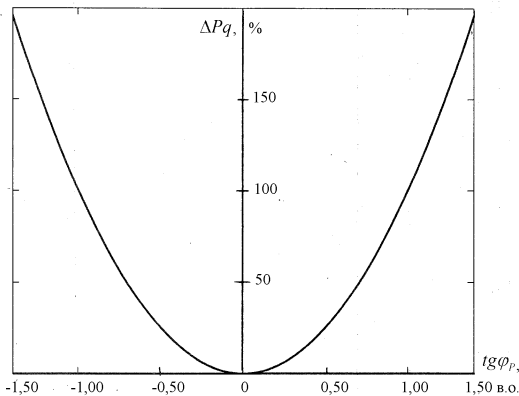


Рис.5. Залежність $\Delta P^* = f(tg\varphi_D)$

Оскільки споживачам передається тільки активна складова електроенергії, то можна вважати, що пропускна спроможність будь-якої електропередачі характеризується розрахунковим значенням її активного навантаження. Зважаючи на формулу (5), діюче значення повного навантаження електропередачі можна представити у вигляді, кВА

$$S_D = \sqrt{P_p^2 + Q_D^2} = P_p \cdot \sqrt{1 + tg\varphi_D^2}. \quad (15)$$

Приймаючи за умовну одиницю значення P_p , рівняння (15) можна представити у відносних одиницях, в.о.

$$S^* = \frac{S_D}{P_p} = \sqrt{1 + tg\varphi_D^2}. \quad (16)$$

При цьому, зменшення пропускної спроможності електропередачі від її реактивного навантаження представляється у вигляді, в.о.

$$\Delta S^* = 1 - \sqrt{1 + tg\varphi_D^2}. \quad (17)$$

Графічно, залежність за формулою (17), у процентах від S_D , представлено на рис.6.

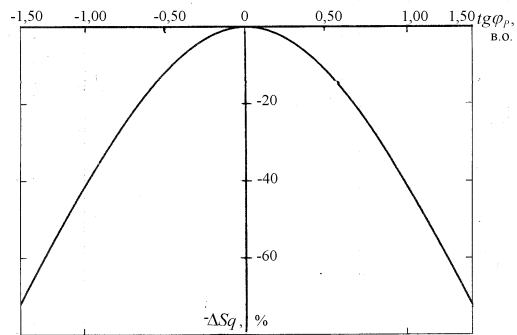


Рис.6. Залежність $\Delta S^* = f(tg\varphi_D)$

Зважаючи на економічний збиток від реактивного навантаження ЕЕС будь-якого рівня у нормативному документі [6], що діє сьогодні в Україні, встановлено діюче нормативне значення коефіцієнта реактивного навантаження на рівні $tg\varphi_H = 0,25$ в.о.

Очевидно, що загальний вплив реактивного навантаження електропередачі на її економічність можна визначити за формулою, в.о.

$$K_q = \frac{1 + a_M \cdot tg\varphi_D + 1 + tg\varphi_D^2 + \sqrt{1 + tg\varphi_D^2}}{1 + a_M \cdot tg\varphi_H + 1 + tg\varphi_H^2 + \sqrt{1 + tg\varphi_H^2}} = \frac{2 + a_M \cdot tg\varphi_D + tg\varphi_D^2 + \sqrt{1 + tg\varphi_D^2}}{2 + a_M \cdot tg\varphi_H + tg\varphi_H^2 + \sqrt{1 + tg\varphi_H^2}}. \quad (18)$$

Очевидно, що загальну вартість збитку

електропередачі від її реактивного навантаження, у грошовому еквіваленті можна визначити із співвідношення

$$\left. \begin{aligned} CeP &\rightarrow K_q \\ Ceq &\rightarrow (K_q - 1) \end{aligned} \right\}, \quad (19)$$

де CeP - вартість спожитої у розрахунковому періоді, за комерційним обліком, активно електроенергії, грн.; Ceq - прихована вартість економічного збитку електропередачі від її реактивного навантаження, що визначається із співвідношення (19), грн.

$$Ceq = CeP \cdot \frac{(K_q - 1)}{K_q}. \quad (20)$$

Методику визначення збитку від надлишкового реактивного навантаження СЕП конкретного споживача перевіримо на прикладі, яка передбачає його живлення від системної підстанції 110/6 кВ.

Вихідні дані СЕП у розрахунковому періоді – вересень 2015 р.:

1. Виток активної електроенергії

$$WP_p = 26273 \text{ кВт}\cdot\text{г}.$$

2. Вартість спожитої активної електроенергії

$$CeP = 39462,05 \text{ грн.}$$

$$K_q = \frac{2 + a_M \cdot tg\varphi_D + tg\varphi_D^2 + \sqrt{1 + tg\varphi_D^2}}{2 + a_M \cdot tg\varphi_H + tg\varphi_H^2 + \sqrt{1 + tg\varphi_H^2}} = \frac{2 + 2,5922 \cdot 0,3137 + 0,3137^2 + \sqrt{1 + 0,3137^2}}{2 + 2,5922 \cdot 0,25 + 0,25^2 + \sqrt{1 + 0,25^2}} = 1,0583 \text{ в.о.}$$

2. За формулою (20) визначається збиток електропередачі від реактивного навантаження СЕП споживача у розрахунковому періоді

$$\begin{aligned} 3. \quad Ceq &= CeP \cdot \frac{(K_q - 1)}{K_q} = \\ &= 39462,05 \cdot \frac{(1,0583 - 1)}{1,0583} = 2173,90 \text{ грн.} \end{aligned}$$

3. Виток реактивної електроенергії

$$WQ_p = 11656 \text{ квар}\cdot\text{г}.$$

4. Плата за реактивну електроенергію

$$CeQ = 710,81 \text{ грн.}$$

5. Характеристичний коефіцієнт електропередачі, за даними табл.1. з [5]

$$a_M = 2,5922 \text{ в.о.}$$

6. Нормативний коефіцієнт реактивної потужності споживача, за даними [6]

$$tg\varphi_H = 0,25 \text{ в.о.}$$

Методика розрахунку:

1. За формулою (12) визначається діюче значення розрахункового коефіцієнта реактивної потужності споживача

$$tg\varphi_D = \frac{WQ_p}{\sqrt{2} \cdot WP_p} = \frac{11656}{\sqrt{2} \cdot 26273} = 0,3137 \text{ в.о.}$$

2. За формулою (18) визначається економічний коефіцієнт впливу реактивного навантаження споживача

4. Недоплата споживача за збиток електропередачі від реактивного навантаження СЕП споживача у розрахунковому періоді

$$\begin{aligned} \Delta Ceq &= Ceq - CeQ = \\ &= 2173,90 - 710,81 = 1463,09 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Очевидно, що величина ΔCeq це вартість марно витрачених енергоресурсів, які для держави мають стратегічне значення.

Висновки. Повна енергія електромагнітного поля електроенергетичної системи це хвиля енергії поляризації електрично пружного діелектричного середовища, яке оточує усі її струмоведучі частини одночасною дією на нього напруги і струму провідності згаданих частин, що біжить від генераторів електростанцій системи до електроприймачів споживачів, змінюючись у поперечному напрямку електропередачі від максимального значення до значення, що відповідає значенню її складової у поздовжньому напрямку (активної електроенергії).

Як фізичне явище, електрична електроенергетичної системи є енергією поляризації її електрично пружного діелектричного середовища. Як товарна продукція електроенергетичної системи, електрична енергія є роботою, яку виконують генератори її електростанцій для створення різниці електричних потенціалів (напруг) на своїх затискачах.

Напругу можна вважати потенційною формою електроенергії, яку електропостачальні організації за допомогою власних електричних мереж передають споживачам для споживання (перетворення за допомогою електромагнітних полів електроприймачів у інші види енергії для виконання певного виду корисної роботи).

Методика визначення впливу реактивного навантаження споживачів на економіку електропередачі, що пропонується, дозволяє визначити реальний вплив системи електропостачання конкретного споживача електроенергії на ефективність використання енергоресурсів і сприяє вирішенню задачі державного значення – енергозбереження в електроенергетиці.

Список використаної літератури:

1. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники: Изд. 6-е. Учебник для студ. энергетич. и электротехнич. вузов [Текст] / Л. А. Бессонов. – М.: Высш. школа, 1973. – 752 с.
2. Богородицкий Н. П. Электротехнические материалы: Учебник для вузов. 7-е изд. [Текст] / [Н.П. Богородицкий, В.В. Пасынков, В.М. Тареев]. – Ленинград: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ие, 1985. – 304 с.

3. Ландау Л. Д. Курс общей физики. Механика и молекулярная физика [Текст] / [Л. Д. Ландау, А.И. Ахиезер, Е.М. Лифшиц]. – М.: Изд. «Наука», Главная редакция физико-математической литературы.– 1969. – 399 с.

4. Дорошенко О.І. Розроблення фізичної бази для математичного моделювання процесу електропередавання [Текст] / О.І. Дорошенко, О.В. Романюк, С.О. Борисенко // Технологический аудит и резервы производства – №4/[24]. – Харьков, 2015. – С. 51 – 55.

5. Дорошенко О. І. Визначення базової (оптової) ціни на електроенергію для промислових споживачів [Текст] / О.І. Дорошенко, О.В. Романюк, С.А. Песков, С.О. Борисенко // Технологический аудит и резервы производства – №5/1(25).–Харьков, 2015. –С.35–38.

6. Національне агентство України з питань забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів. Державна інспекція з енергозбереження. Методика визначення нераціонального (неефективного) використання паливно-енергетичних ресурсів [Текст] / – Київ, 2009. – 117 с.

Одержано 03.11.2015

References

1. Bessonov L. A. Teoreticheskie osnovi elektrotechniki: Izd. 6-e. Uchebnik dlya stud. enerhetich. i elektronchnich vuzov [Theoretical foundations of electrical engineering. Ed. 6. a Textbook for students. Energetic. and electrotechnics. Universities]. (1973), *Higher. School, Moskva* – p. 752. (In Russian).

2. Bogoroditsky N. P. Elektrotechnicheskie materiali: Uchebnik dlya vuzov. 7-e izd. [Electrical materials: Textbook for universities. 7-e Izd.]. (1985) / N. P. Bogoroditsky, V. V. Pasyнков, V. M. Tareev // L.: Energoatomizdat. Leningrad. DEP-s. – 304 p.

3. Landau L.D. Kurs obchey fyziki. Mekhanika I molekulyarnaya fyzika. [Course of General physics. Mechanics and molecular physics]. (1969) / L. D. Landau, A. I. Akhiezer, E. M. Lifshitz. // М.: Изд. "Science", Main edition of physico-mathematical literature. – 399 p.

4. Doroshenko O. I. Rosablanca Ficino bazi for mathematical modeling of biological processes elektroperedacha [Text] / O. I. Dor-

oshenko, O. V. Romanyuk, S. O. Borisenko // Technology audit and production reserves – №4/[24]. Kharkiv, 2015. – P. 51 – 55.

5. Doroshenko O. I. Vyznachennya Basova (Optoma) zni to electroenergy for promislovih spozhivachiv [Text] / O. I. Doroshenko, O. V. Romanyuk, S. A. Peskov, S. O. Borisenko //Technology audit and production reserves – №5/1(25). Kharkiv, 2015. –S. 35–38.

6. The national Agency of Ukraine W the issues of the effective zabezpechennya energetichnih resursiv. Sovereign spekta W energozberezhennya. Methodology vyznachennya inefficient (efficient when trying) palivno-energetichnih resursiv. Kyiv, 2009. – 117 p.



Дорошенко Олександр
Іванович,
к.т.н., доц. каф. ел. поста-
чання та енергоменеджме-
нту Одеського нац. полі-
техн. ун-ту. м/т: 067-267-
95-89,
e-mail: dai1938@yandex.ua



Гусак Костянтин
Степанович,
заступник Головного дер-
жавного інспектора Украї-
ни з енергонадзору у Пів-
денному регіоні м/т: 050-
490-75-19.



Романюк Олена
Вікторівна,
студ.-магістр каф. електро-
постачання та енергомене-
джменту Одеського націо-
нального політехнічного
університету 65044, Украї-
на, м. Одеса, пр. Шевчен-
ка,1
м/т: 093-231-00-33. e-mail:
romanjukhelen@mail.ru