

Дорошенко О. І.,
Борисенко С. О.

ЩО ДО РОЗДРІБНОЇ ЦІНИ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЮ

Спираючись на фізику нормального режиму роботи електроенергетичних систем, у статті пропонується новий науково-методичний підхід до визначення роздрібною ціни на електроенергію для промислових і дорівнених, до них споживачів, який розглядає електричні мережі електроенергетичних систем 110 кВ у якості прилавку Енергоринку України, від якого споживачі одержують напругу, як електропотенційну форму електроенергії.

Ключові слова: електроенергія, електропостачання, електрична напруга, втрати напруги, ціна на електроенергію.

1. Вступ

Незважаючи на велику кількість позитивних рис ринкової економіки, вона не в змозі автоматично регулювати геть усі економічні і соціальні процеси в інтересах усього людського загалу і кожного його громадянина. Вона не може забезпечити соціально справедливого розподілу національного доходу, не гарантує право на труд, не націлює на захист оточуючого середовища і не підтримує незахищені верстви населення. Приватний бізнес не переймається вкладенням капіталу у такі галузі господарства і проекти, які не забезпечують йому достатньо високого прибутку, але для людського загалу і держави вони можуть бути дуже важливими. Тому прерогативою держави є забезпечення належного правопорядку та національної безпеки, що, у свою чергу, складає основу для розвитку підприємництва та економіки держави. Про все це повинна піклуватись держава і впливати на ринкову економіку за допомогою певних економічних важелів. Одним з таких важелів є ціноутворення.

В [1] ціна характеризується наступним чином: «...Ціна — это сумма денег, за которую покупатель готов купить товар, а производитель — продать...». На частину найважливіших товарів і послуг першої необхідності ціни і тарифи регулюються державою.

При цьому ціна на товарну продукцію складається за алгоритмом (табл. 1).

Таблиця 1

Склад роздрібною ціни на промислову продукцію

Собівартість продукції	Прибуток підприємства	Акциз (по підакцизним товарам)	Налог на додану вартість	Націнка посередника	Торгові націнки
Відпускна ціна підприємства					
Оптова ринкова ціна					
Роздрібна ціна					

Оскільки електроенергетика вважається основою для розвитку усіх, без винятку, сфер людської діяльності, то ціна на електроенергію, як на товарну продукцію електроенергетичних систем (ЕЕС), повинна регулюватись загальнодержавними нормативними документами, що і має місце у дійсності.

Як можна бачити з табл. 1, оптова ринкова ціна на електроенергію складається з відпускної ціни підприємства-виробника і націнки посередника. Роздрібна ціна перебільшує оптову ціну на величину торгової націнки, яка визначається витратами електропостачальних організацій (ЕО) на транспорт електроенергії до приймального пункту системи електропостачання (СЕР) конкретного споживача.

Мета даної роботи — розроблення методики визначення роздрібною ціни на електроенергію для конкретного споживача, яка науково ґрунтується на фізиці процесу її електропередачі, — показує її актуальність.

2. Аналіз літературних даних

Як відомо з [2], фізично, електроенергія є енергією електромагнітного поля ЕЕС, яке створюється одночасною дією напруги і струму провідності струмоведучих частин цієї системи, на діелектричне середовище, що оточує такі її частини.

Зважаючи на те, що струм провідності створюється під дією їх напруги, то можна зробити висновок про те, що як товарна продукція ЕЕС, електроенергія є роботою, яку виконують синхронні генератори її електростанцій для створення різниці електричних потенціалів (напруги) на своїх затискачах. Тобто, електричну напругу можна вважати потенційною формою електроенергії.

Таким чином, ЕО передають споживачам електроенергію у потенційному вигляді (у вигляді напруги певного номінального рівня).

У залежності від характеристики електроприймачів споживача, у діелектричному середовищі їх струмоведучих частин і таких же частин електричних мереж, що їх живлять напругою і створюється енергія, яка може виконувати корисну роботу. При цьому розрізняють активну і реактивну складову електроенергії СЕР конкретного споживача, які фіксують комерційним обліком. Вважається, що активна складова передається до електроприймачів (поздовжня складова до напрямку електропередачі) і перетворюється ними у інші види для виконання корисної роботи, а реактивна — двічі за період напруги і струму провідності накопичується в електромагнітному полі (у напрямку, поперечному до напрямку електропередачі) і через явище електромагнітної індукції намагається повернутись у середину

струмоведучих частин. Але середовище таких частин не є електропружним і тому, за даними [3], у ньому енергії бути не може. При цьому створюється електрорушійна сила (ЕРС) самоіндукції, під дією якої збільшуються активні втрати струмоведучих частин СЕП споживача і ЕО, зменшується їх пропускна спроможність та суттєво змінюється їх напруга.

При математичному моделюванні ЕЕС, у відповідності до теореми Пойтинга, повну потужність ЕЕС можна представити у вигляді, кВА:

$$S = U_m \sin \omega t \cdot I_m \sin(\omega t - \varphi) = U \cdot I \cos \varphi - U \cdot I \cos(2\omega t - \varphi), \quad (1)$$

де U_m — амплітудне значення напруги, кВ; I_m — амплітудне значення струму провідності, А; U — діюче значення напруги, кВ; I — діюче значення струму провідності, А; φ — кут зсуву фаз між синусоїдальними напругою і струмом провідності струмоведучих частин ЕЕС, град.

Таке рівняння в [4] визнається реально-математичною моделлю ЕЕС і за відстаючого від напруги струму провідності його, графічно, наведено на рис. 1.

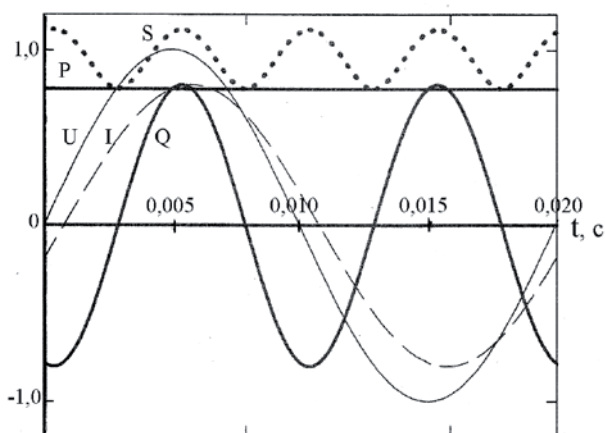


Рис. 1. Реально-математична модель електромагнітного поля ЕЕС

Можна побачити, що перша складова рівняння (1) не залежить від частоти напруги і струму провідності струмоведучих частин ЕЕС і є її активною потужністю. Друга складова цього рівняння змінюється з подвійною частотою за період зміни синусоїдальних напруги і струму провідності струмоведучих частин ЕЕС і є її реактивною потужністю.

Приймаючи до уваги математичну залежність $\cos(2 \cdot 45^\circ - \varphi) = \sin \varphi$, за звичаєм, рівняння (1) представляють у вигляді, кВА:

$$S = UI \cos \varphi - UI \sin \varphi = P \pm JQ. \quad (2)$$

Очевидно, що рівняння (2) відповідає математичному моделюванню ЕЕС, яке суттєво відрізняється від її реально-математичного моделювання, що відповідає рівнянню (1).

Співвідношення між активною (корисною) і реактивною складовою (шкідливим баластом, який розглядається нормативними документами [5, 6] у якості окремої товарної продукції) будь-якої ЕЕС та СЕП контролю-

ється і визначається за допомогою коефіцієнта реактивної потужності, що є відношенням між реактивною та активною складовими повного їх навантаження за відомою формулою, в. о.:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q}{P}, \quad (3)$$

де Q — реактивна потужність системи, квар; P — активна потужність системи, кВт; φ — кут зсуву фаз між синусоїдальними напругою та струмом провідності струмоведучих частин системи, град.

Як показано в [4], коефіцієнт реактивної потужності будь-якої електропередачі може слугувати показником економічності її роботи.

Дослідження в [7] підтверджують, що повна енергія електропередачі в ЕЕС є хвилею енергії поляризації її діелектричного середовища, що біжить від генераторів електростанцій системи до споживачів. При цьому, її коливний характер визначається коливним характером її реактивної складової, яка змінюється в межах від нуля до амплітуди в межах періоду зміни її синусоїдальної напруги.

Відомо, що при вимірюванні реактивної електроенергії застосовують дев'яносто градусну схему вмикання вимірювального елемента. Тобто, додатково створюють зсув між векторами діючих значень фазного струму і напруги, який змінюється в межах $\pm 90^\circ$.

Таким чином, активна складова хвилі повної енергії ЕЕС, що визначається за формулою (2), є діючим значенням, а її реактивна складова — амплітудним. Тому в практичних розрахунках, середній у розрахунковому періоді, коефіцієнт реактивної потужності, який визначається за формулою (3), може відповідати двом значенням реактивної потужності:

Амплітудному, в. о.:

$$\operatorname{tg} \varphi_A = \frac{WQ}{WP}. \quad (4)$$

Діючому, в. о.:

$$\operatorname{tg} \varphi_{\text{ДР}} = \frac{WQ}{\sqrt{2} \cdot WP}, \quad (5)$$

яке повинно застосовуватись у якості директивного для споживачів.

3. Об'єкт, мета і задачі дослідження

Об'єкт дослідження — електроенергетична система (як сукупність електроустановок), в якій виробляють, розподіляють, передають і споживають електричну енергію, як товарну продукцію такої системи.

Метою даної роботи є дослідження залежності роздрібної ціни на електричну енергію у залежності від принципної схеми електропередачі і її номінальної напруги.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі:

1. Спираючись на фізику електромагнітного поля ЕЕС, обгрунтувати фізичну сутність електроенергії у якості товарної продукції такої системи.

2. Одержати математичну залежність роздрібної ціни на електроенергію для її споживачів у залежності від принципової схеми електропередачі і її номінальної напруги.

4. Результати дослідження економічності реактивного навантаження електропередачі

Вважаючи напругу потенційною формою електроенергії, розглянемо її постачання споживачам за допомогою електричних мереж ЕО. При цьому частина напруги втрачається в їх струмоведучих частинах. Такі втрати можна визначити за відомою формулою, кВ:

$$\Delta U = \frac{PR_E + QX_E}{U_{НОМ}} \cdot 10^{-3} = \frac{PR_E}{U_{НОМ}} \cdot 10^{-3} + \frac{QX_E}{U_{НОМ}} \cdot 10^{-3} = \Delta U_P + \Delta U_Q, \tag{6}$$

де P – активна потужність електропередачі, кВт; Q – реактивна потужність електропередачі, квар; $U_{НОМ}$ – номінальна напруга електропередачі, кВ; R_E – еквівалентний активний опір струмоведучих частин електропередачі, приведений до її номінальної напруги, Ом; X_E – еквівалентний реактивний опір струмоведучих частин електропередачі, приведений до її номінальної напруги, Ом; ΔU_P – втрати напруги в струмоведучих частинах електропередачі тільки від її активного навантаження, кВ; ΔU_Q – втрати напруги в струмоведучих частинах електропередачі тільки від її реактивного навантаження, кВ.

Приймаючи у якості умовної одиниці ΔU_P , рівняння (6) можна представити у вигляді, в. о.:

$$\Delta U^* = \frac{\Delta U_P}{\Delta U_P} + \frac{\Delta U_Q}{\Delta U_P} = 1 + \frac{Q_P X_E}{P_P R_E} = 1 + \alpha \cdot \text{tg} \phi_D, \tag{7}$$

де α – характеристичний коефіцієнт електропередачі, в. о.:

$$\alpha = \frac{x_0}{r_0}, \tag{8}$$

де x_0 – питомий погонний реактивний опір струмоведучих частин електропередачі, Ом/км; r_0 – питомий погонний активний опір струмоведучих частин електропередачі, Ом/км.

Реальні середні значення α , визначені за даними [8], наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Середні значення $\alpha = f(U_{НОМ})$

$U_{НОМ}$, кВ	0,38	6	10	35	110
α_i , в. о.	0,108	0,223	1,360	1,781	2,350

Відомо, що крім характеристик r_0 та x_0 електричні мережі електропередачі характеризуються також питомою величиною ємнісної провідності q_0 , квар/км, яка може впливати на величину α .

Її вплив можна визначити за допомогою подвійного перетворення питомої заступної схеми так, як показано на рис. 2 із застосуванням формул з [9].

Результати розрахунків для струмоведучих частин максимального стандартного перерізу за номінальної напруги електропередачі наведено в табл. 3, які свідчать про те, що величиною такого впливу можна знехтувати.

Роздрібну ціну на електроенергію для конкретного споживача можна визначити за формулою, грн/кВт·год:

$$c_0 i = c_0 \cdot K_U, \tag{9}$$

де c_0 – ринкова ціна на електроенергію при нарузі електропередачі $U_{НОМ} = 110$, грн/кВт·год; K_U – розрахунковий коефіцієнт, що враховує номінальну напругу живлення СЕП конкретного споживача, в. о.:

$$K_U = \frac{1 + \alpha_{\Sigma} \text{tg} \phi_D}{1 + \alpha_{05} \text{tg} \phi_D}, \tag{10}$$

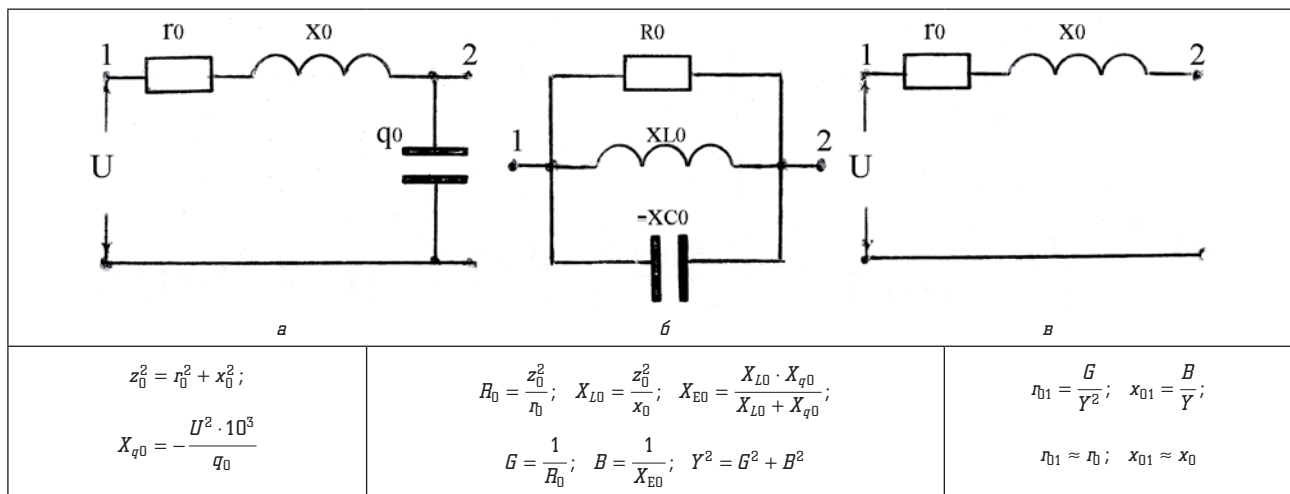


Рис. 2. Перетворення питомої заступної схеми електропередачі: а – вихідна; б – перетворена; в – розрахункова

де α_{Σ} — значення характеристичного коефіцієнта електричної мережі, що живить споживча, за даними табл. 1, в. о.; α_0 — значення характеристичного коефіцієнта електричної мережі при номінальній напрузі мережі енергоринку, за даними табл. 2, в. о.; $\text{tg } \varphi_D$ — директивне значення коефіцієнта реактивної потужності, затверджене на державному рівні, в. о.

Таблиця 3

Вплив q_0 на величину параметру α_0 електропередачі

№	U , кВ	F , мм ²	ρ_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	α_0 , в. о.	q_0 , квар/км	α_{01} , в. о.	$\Delta_{\text{вс}}$, %
1	0,38	240	0,129	0,014	0,108	0,0	0,108	0,00
2	6,0	240	0,129	0,029	0,223	13,0	0,223	0,00
3	10,0	240	0,129	0,175	1,360	21,5	1,360	0,00
4	35,0	185	0,156	0,264	1,695	115,0	1,695	0,00
5	110,0	240	0,120	0,282	2,350	3750,0	2,3498	0,01

Якщо у розрахунковому періоді діюче значення коефіцієнта реактивної потужності, яке визначається за формулою (5), перебільшує його директивне значення то, формула (10) набуває вигляду, в. о.:

$$K_U = \frac{1 + \alpha_{\Sigma} \text{tg } \varphi_{\text{ДР}}}{1 + \alpha_{05} \text{tg } \varphi_D} \quad (11)$$

При визначенні директивної величини коефіцієнта реактивної потужності за будь-якої номінальної напруги необхідно прийняти вимогу директивного документа [10], що вимагає встановлення його величини на рівні значення $\text{tg } \varphi_D = 0,25$, в. о. для діючого значення реактивної електроенергії.

У залежності від порядкового номера принципової схеми електропередачі з табл. 3, розрахункове значення α_{Σ} в формулі (10) становить, в. о.:

$$\alpha_{\Sigma} = \sum_i \alpha_{0i}, \quad (12)$$

де α_{0i} — значення α_0 з табл. 2, в. о.

Роздрібну ціну на електроенергію для будь-якого промислового, і дорівнянню до нього, споживача можна визначити за формулою, грн/кВт·год:

$$c_{0E} = c_0 \cdot K_U, \quad (13)$$

де c_0 — оптова ринкова ціна на електроенергію (при номінальній напрузі енергоринку $U_{\text{НОМ}} = 110$ кВ).

Можливі схеми електропередачі конкретним споживачам, у залежності від номінальної напруги їх живлення, наведено в табл. 4.

У якості прикладу розглянемо електропередачу до СЕП споживча, принципову схему якої наведено на рис. 3.

Таблиця 4

Залежність K_U від схеми живлення споживача, в. о.

№	Схема живлення споживача	α_{Σ} , в. о.	K_U , в. о.
1		2,350	1,0000
2		2,573	1,0351
3		2,681	1,0521
4		3,710	1,2142
5		3,818	1,2311
6		4,131	1,2670

Закінчення табл. 4

№	Схема живлення споживача	α_{Σ} , в. о.	K_U , в. о.
7		4,239	1,2840
8		4,354	1,3020
9		4,462	1,3191
10		5,491	1,4810
11		5,599	1,5274

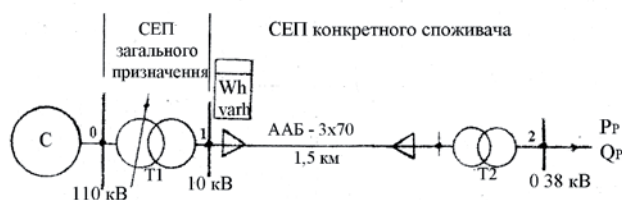


Рис. 3. Принципова схема СЕП реального споживача

Як можна бачити, така схема відповідає схемі = 4 з табл. 4. При цьому, за формулою (12):

$$\alpha_{\Sigma} = \alpha_{05} + \alpha_{03} = 2,350 + 1,360 = 3,710 \text{ в. о.}$$

За формулою (10):

$$K_U = \frac{1 + 3,710 \cdot 0,25}{1 + 2,350 \cdot 0,25} = 1,2142 \text{ в. о.}$$

Якщо ринкова оптова ціна на електроенергію складає величину $c_0 = 0,9691$ грн/кВт·год, то роздрібна ціна на електроенергію для споживача, що розглядається, за формулою (13), становить:

$$c_{0E} = 0,9691 \cdot 1,2142 = 1,1767 \text{ грн/кВт·год.}$$

Якщо у розрахунковому періоді (календарний місяць), за даними комерційного обліку, $WP = 20766$ кВт·год і $WQ = 9604$ квар·год, то за формулою (5):

$$\text{tg } \varphi_{\text{др}} = \frac{9604}{\sqrt{2} \cdot 20766} = 0,327 \text{ в. о.}$$

і, за формулою (10), відповідно:

$$K_U = \frac{1 + 3,710 \cdot 0,327}{1 + 2,350 \cdot 0,25} = 1,3941 \text{ в. о.}$$

При цьому:

$$c_{0E} = 0,9691 \cdot 1,3941 = 1,3510 \text{ грн/кВт·год.}$$

5. Обговорення результатів дослідження коефіцієнта реактивного навантаження системи електропостачання конкретного споживача

Таким чином, коефіцієнт реактивного навантаження системи електропостачання конкретного споживача E_E може слугувати економічною характеристикою для визначення роздрібною ціни на електроенергію і енергопостачальні організації можуть вносити корективи до її оптової ціни, зважаючи на реальне діюче значення такого коефіцієнта у розрахунковому періоді.

6. Висновки

В результаті проведених досліджень можна зробити висновки:

1. Енергопостачальні організації (обленерго) передають споживачам електроенергію у електропотенційному вигляді – у вигляді напруги певного номінального рівня.
2. За звичай, реактивна складова повного навантаження електропередачі, яке безпосередньо не пов'язане з виконанням корисної роботи (у інші види енергії не перетворюється), зменшує рівень напруги її приймального пункту.

3. Коефіцієнт реактивної потужності електропередачі може слугувати показником її економічності і його необхідно нормувати на державному рівні.

4. Зважаючи на фізичну особливість реактивної потужності електропередачі (її зміну — двічі за період зміни напруги струмоведучих частин), при визначенні величини коефіцієнта реактивної потужності електропередачі показання комерційного обліку реактивної енергії необхідно зменшувати у $\sqrt{2}$ разів.

5. Директивне значення коефіцієнта реактивної потужності СЕП конкретному споживачеві ЕЕ необхідно встановити як середнє його значення на протязі року у директивних документах, виходячи з оптової ціни електроенергії на енергоринку, у залежності від схеми електропередачі і номінальної напруги.

6. Усі нормативні документи, що пов'язані з розрахунками роздрібної ціни на електричну енергію для промислових і дорівнених до них споживачів електроенергії, що діють сьогодні в Україні потребують переоброблення з метою їх вдосконалення.

Література

1. Сергеев, И. В. Экономика предприятия [Текст]: учебн. пособ. / И. В. Сергеев. — М.: Финансы и статистика, 2001. — 304 с.
2. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники [Текст]: учебник / Л. А. Бессонов. — Изд. 6-е. — М.: Высш. школа, 1973. — 752 с.
3. Ландау, Л. Д. Курс общей физики. Механика и молекулярная физика [Текст] / Л. Д. Ландау, А. И. Ахиезер, Е. М. Лифшиц. — М.: «Наука»; Главная редакция физико-математической литературы, 1969. — 399 с.
4. Дорошенко, О. І. Про математику і фізику електропередачі [Текст] / О. І. Дорошенко // Матеріали X-ої міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Новини наукової думки», 22–30 жовтня 2014 р., Прага. — С. 15–22.
5. Про затвердження Методики обчислення плати за перетікання реактивної електроенергії [Текст]: Наказ Міністерства палива та енергетики України № 19 від 17.01.2002 // Офіційний вісник України. — 2002. — № 48. — С. 71–147.
6. СОУ-Н МПЕ 40.1.20.510.:2006. Методика визначення економічно доцільних обсягів компенсації реактивної енергії, яка перетікає між електричними мережами електропередавальної організації та споживача (основного споживача та субспоживача) [Текст]. — Київ, 2006. — 48 с.
7. Дорошенко, О. І. Про економічний еквівалент реактивної потужності систем електропостачання [Текст] / О. І. Дорошенко // Технологічний аудит та резерви виробництва. — № 6/5(20). — С. 26–30. doi:10.15587/2312-8372.2014.29966
8. Файбисович, Д. Л. Справочник по проектированию электрических сетей [Текст] / под ред. Д. Л. Файбисовича. — М.: НЦ ЭНАС, 2006. — 320 с.
9. Зевеке, Г. В. Основы теории цепей [Текст] / Г. В. Зевеке, П. А. Ионкин, А. В. Нетушил и др. — М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. — 440 с.
10. Методика визначення нераціонального (неефективного) використання паливно-енергетичних ресурсів [Текст]: Наказ Національного агентства України з питань забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів. — Київ, 2009. — 13 с.

О РОЗНИЧНОЙ ЦЕНЕ НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ

Опираясь на физику нормального режима работы электроэнергетических систем, в статье предлагается новый методический подход к определению розничной цены на электроэнергию для промышленных и приравненных к ним потребителей, который рассматривает электрические сети электроэнергетических систем 110 кВ в качестве прилавка Энергорынка Украины, от которого потребители получают электрическое напряжение, как электропотенциальную форму электроэнергии.

Ключевые слова: электроэнергия, электроснабжение, электрическое напряжение, потери напряжения, цена на электроэнергию.

Дорошенко Александр Иванович, кандидат технических наук, доцент, кафедра электропостачання та енергоменеджменту, Одеський національний політехнічний університет, Україна, e-mail: dai1938@yandex.ua.

Борисенко Світлана Олександрівна, керівник проектної групи, ВТВ ПАТ «Одесаобленерго», Одеса, Україна, e-mail: sab1975@list.ru.

Дорошенко Александр Иванович, кандидат технических наук, доцент, кафедра электроснабжения и энергоменеджмента, Одесский национальный политехнический университет, Украина.

Борисенко Светлана Александровна, руководитель проектной группы, ПТО ЗАО «Одессаоблэнерго», Одесса, Украина.

Doroshenko Oleksandr, Odessa National Polytechnic University, Ukraine, e-mail: dai1938@yandex.ua.

Borisenko Svitlana, VET CJSC «Odesaoblenergo», Odessa, Ukraine, e-mail: sab1975@list.ru