

ОПТИМІЗАЦІЯ ПЛОЩІ ПЛОСКИХ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ ДЛЯ СИСТЕМ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

З підвищенням площі сонячних колекторів частка корисної енергії, що забезпечується впродовж року сонячною установкою (СУ), та її вартість зростають. Недостатня енергія покривається за рахунок органічного палива чи електроенергії. В роботі проведена оптимізація площі сонячних колекторів відносно мінімуму приведених річних витрат для СУ, які працюють впродовж теплої половини чи весь рік.

Ключові слова: площа сонячних колекторів, приведені річні витрати, тривалість функціонування.

Кравченко Володимир Петрович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри прикладної екології та гідрогазодинаміки, Одеський національний політехнічний університет, Україна, e-mail: vpkra@rambler.ru.

Кравченко Егор Владимирович, аспірант, кафедра атомних електростанцій, Одеський національний політехнічний університет, Україна, e-mail: evksst@gmail.com.

Кравченко Володимир Петрович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри прикладної екології та гідрогазодинаміки, Одеський національний політехнічний університет, Україна.

Кравченко Егор Владимирович, аспірант, кафедра атомних електростанцій, Одеський національний політехнічний університет, Україна.

Kravchenko Vladimir, Odessa National Polytechnic University, Ukraine, e-mail: vpkra@rambler.ru.

Kravchenko Iegor, Odessa National Polytechnic University, Ukraine, e-mail: evksst@gmail.com

УДК 621.371:621.311.4

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.36950

Дорошенко О. І.

ПРО ОПТИМАЛЬНИЙ КОЕФІЦІЄНТ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Спираючись на фізику електропередачі в електроенергетичних системах, у статті пропонується при розрахунках їх режимів використовувати не амплітудне значення реактивної потужності, яким оперують при цьому, зазвичай, а його діюче значення. Доведено, що така практика існує у наш час через те, що на державному рівні існують нормативні документи, які вимагають плату споживачів за реактивну електроенергію.

Ключові слова: електроенергія, електропостачання, реактивне навантаження, коефіцієнт реактивної потужності.

1. Вступ

З теоретичних основ електроенергетики відомо, що електрична енергія (ЕЕ), фізично, є енергією електромагнітного поля електроенергетичної системи (ЕЕС), яке створюється одночасною дією на її діелектричне середовище напруги і струму провідності струмоведучих частин усіх об'єктів (електроустановок) системи. При цьому, напруга діє, переважно поперек напрямку електропередачі, а струм провідності — уздовж неї. Тому ЕЕ електропередачі можна розкласти на дві умовні складові частини поздовжню — активну та поперечну — реактивну.

Як підтверджено в [1], реактивної ЕЕ як товарної продукції ЕЕС, фізично, бути не може. Але, як фізичне явище, вона спричиняє економічний збиток і споживачам ЕЕ і електропостачальним організаціям. Тому реактивне навантаження систем електропостачання (СЕС) необхідно контролювати і обмежувати за допомогою спеціальних пристроїв компенсації. Очевидно, що визначення потужності таких пристроїв є економічною задачею кожного споживача ЕЕ, завжди було і є актуальним у наш час.

Співвідношення між активною (корисною) і реактивною складовою (шкідливим баластом) ЕЕ будь-якої ЕЕС та СЕС контролюється і визначається за допомогою коефіцієнта реактивної потужності, який є відношенням

між реактивною та активною складовими повного їх навантаження за відомою формулою, в. о.:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q}{P}, \quad (1)$$

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.

2. Аналіз літературних даних

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

$$\begin{aligned} S &= U_m \sin \omega t \cdot I_m \sin(\omega t - \varphi) = \sqrt{2}U \sin \omega t \cdot \sqrt{2}I_m \sin(\omega t - \varphi) = \\ &= \frac{\sqrt{2}U \cdot \sqrt{2}I}{2} [\cos(\omega t - \omega t + \varphi) - \cos(\omega t + \omega t - \varphi)] = \\ &= U \cdot I \cos \varphi - U \cdot I \cos(2\omega t - \varphi), \end{aligned} \quad (2)$$

де u — миттєве значення синусоїдальної напруги струмоведучих частин ЕЕС, кВ; i — миттєве значення струму

провідності струмоведучих частин ЕЕС, А; 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.

Як можна бачити, перша складова рівняння (2) 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. Таке рівняння в [1] визнається реально-математичною моделлю ЕЕС і графічно було представлено на рис. 1.

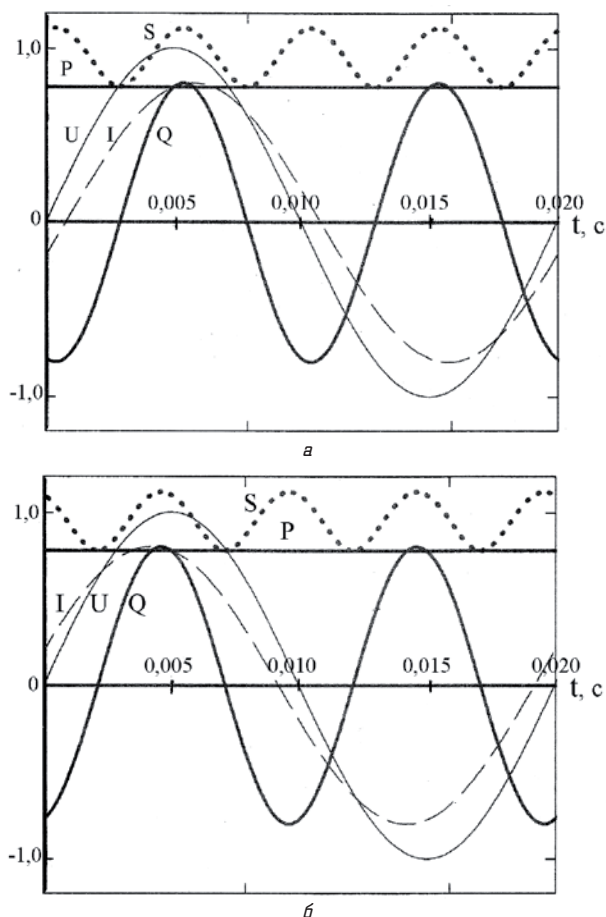


Рис. 1. Реально-математична модель ЕЕС: а — відстаючий струм провідності; б — випереджаючий струм провідності

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

$$S = UI \cos \varphi - UI \sin \varphi = P \pm jQ. \quad (3)$$

Очевидно, що рівняння (3) відповідає математичному моделюванню ЕЕС, що суттєво відрізняється від її реально-математичного моделювання, якому відповідає рівняння (2).

Як підтверджено в [2], повна енергія електропередачі в ЕЕС є хвилюю 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.

Як відомо, при вимірюванні реактивної ЕЕ 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 коефіцієнт реактивної потужності, який визначається за формулою (1), може відповідати двом значенням реактивної потужності:

Амплітудному, в. о.:

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

Діючому, в. о.:

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

яке повинно застосовуватись у якості директивного для споживачів.

3. Об'єкт, мети і задачі дослідження

Об'єкт дослідження — система електропостачання конкретного споживача ЕЕ.

Метою даної роботи є дослідження ступеня реальності значень коефіцієнтів реактивної потужності, які використовують нормативні документи з компенсації реактивного навантаження систем електропостачання конкретних споживачів [3–5], що визначаються формулою (1) і діють сьогодні в Україні у якості директивних. Яким значенням реактивного навантаження споживачів вони повинні відповідати — діючим чи амплітудним?

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі:

1. Спираючись на фізику електромагнітного поля ЕЕС обґрунтувати фізичну сутність реактивної ЕЕ.
2. Незважаючи на відсутність реактивної ЕЕ як окремого виду енергії, визначити основні причини необхідності її зменшення в ЕЕС.
3. Одержати математичну залежність, активних втрат електричних мереж СЕП і ЕО та їх пропускної спроможності від коефіцієнта реактивної потужності.

4. Результати дослідження економічності реактивного навантаження СЕП конкретних споживачів ЕЕ

Не зважаючи на те, що коефіцієнт реактивної потужності СЕП визначає співвідношення між складовими її ЕЕ (корисною і баластом), у якості еталона в нормативних документах України з питань компенсації реактивного навантаження діють умовно вигадані коефіцієнти економічних еквівалентів реактивної потужності (ЕЕРП), які є чисто математичними критеріями і жодного фізичного обґрунтування не мають [6]. Огляд

літератури [7–10] свідчить про те, що сьогодні в Україні відсутня єдина точка зору на чітке розуміння поняття про економічний еквівалент реактивної потужності ЕЕС. Таке можна пояснити математичним формалізмом, який має місце сьогодні в електроенергетиці і відсутністю в згаданих діючих нормативних документах розуміння фізичної сутності електроенергії (ЕЕ) як явища і як товарної продукції ЕЕС.

За твердженням [2], основний збиток споживачів ЕЕ і ЕО складають активні втрати та зменшення пропускної спроможності електричних мереж від їх реактивного струму.

Як було доведено в [11], активні втрати СЕП від їх діючого значення коефіцієнта реактивної потужності можна визначити за формулою, %:

$$\Delta P_Q = \text{tg} \varphi_D^2 \cdot 10^2. \tag{6}$$

Деякі значення директивного коефіцієнта реактивної потужності СЕП споживачів ЕЕ наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Залежність активних втрат СЕП від її реактивного навантаження $\Delta P_Q = f(\text{tg} \varphi_D)$

$\text{tg} \varphi_D$, в. о.	ΔP_Q , %	$\text{tg} \varphi_D$, в. о.	ΔP_Q , %	$\text{tg} \varphi_D$, в. о.	ΔP_Q , %
0,00	0,00	0,19	3,61	0,70	49,00
0,01	0,01	0,20	4,00	0,75	56,25
0,02	0,04	0,21	4,41	0,80	64,00
0,03	0,09	0,22	4,84	0,85	72,25
0,04	0,16	0,23	5,29	0,90	81,00
0,05	0,25	0,24	5,76	0,95	90,25
0,06	0,36	0,25	6,25	1,00	100,00
0,07	0,49	0,26	6,76	1,05	110,25
0,08	0,64	0,27	7,29	1,10	121,00
0,09	0,81	0,28	7,84	1,15	132,25
0,10	1,00	0,29	8,41	1,20	144,00
0,11	1,21	0,30	9,00	1,25	156,25
0,12	1,44	0,35	12,25	1,30	169,09
0,13	1,69	0,40	16,00	1,35	182,25
0,14	1,96	0,45	20,25	1,40	196,00
0,15	2,25	0,50	25,00	1,45	210,25
0,16	2,56	0,55	30,25	1,50	225,00
0,17	2,89	0,60	36,00	1,55	240,25
0,18	3,24	0,65	42,25	1,60	256,00

Як можна бачити, активні втрати від реактивного навантаження звичайних споживачів ЕЕ, для яких додаток 9 до типової угоди про використання ЕЕ, передбачає $\text{tg} \varphi_D = 0,8$ в. о., складає 64% втрат від їх активного навантаження.

Відомо, що пропускна спроможність електропередачі визначається допустимим струмом її струмоведучих частин. Зважаючи на те, що споживачеві передається лише активна складова повного навантаження, можна представити:

$$F \equiv P_D, \tag{7}$$

де F – переріз струмоведучих частин, мм²; P_D – активне довірне навантаження споживача, кВт.

При цьому можна написати, кВт:

$$S_D = \sqrt{P_D^2 + Q_D^2} = \sqrt{\left(\frac{P_D^2}{P_D^2} + \frac{Q_D^2}{P_D^2}\right)} = P_D \sqrt{1 + \text{tg} \varphi_D^2}. \tag{8}$$

За умовою $P_D = 1$, умовне зменшення пропускної спроможності електропередачі від її реактивного навантаження можна визначити за формулою, %:

$$-\Delta F_Q = (1 - \sqrt{1 + \text{tg} \varphi_D^2}) \cdot 100. \tag{9}$$

Результати розрахунків за формулою (9) наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Зменшення пропускної спроможності електричних мереж $-\Delta S_Q = f(\text{tg} \varphi_P)$

$\text{tg} \varphi_P$, в. о.	$-\Delta S_Q$, в. о.	$\text{tg} \varphi_P$, в. о.	$-\Delta S_Q$, в. о.	$\text{tg} \varphi_P$, в. о.	$-\Delta S_Q$, в. о.
0,00	0,00	0,19	1,79	0,70	22,07
0,01	0,00	0,20	1,98	0,75	25,00
0,02	0,02	0,21	2,18	0,80	28,06
0,03	0,04	0,22	2,39	0,85	31,24
0,04	0,08	0,23	2,61	0,90	34,54
0,05	0,12	0,24	2,84	0,95	37,33
0,06	0,18	0,25	3,08	1,00	41,42
0,07	0,24	0,26	3,32	1,05	45,00
0,08	0,32	0,27	3,58	1,10	48,66
0,09	0,40	0,28	3,85	1,15	52,40
0,10	0,50	0,29	4,12	1,20	56,20
0,11	0,60	0,30	4,40	1,25	60,08
0,12	0,72	0,35	5,95	1,30	64,01
0,13	0,84	0,40	7,70	1,35	68,00
0,14	0,98	0,55	9,66	1,40	72,05
0,15	1,12	0,50	11,80	1,45	76,14
0,16	1,27	0,55	14,13	1,50	80,28
0,17	1,43	0,60	16,62	1,55	84,46
0,18	1,61	0,65	19,27	1,60	88,68

Графіки залежності $\Delta P_Q = f(\text{tg} \varphi_P)$ і $-\Delta F_Q = f(\text{tg} \varphi_P)$ наведено на рис. 2.

У якості прикладу розглянемо СЕП споживача за рис. 3.

За час вмикання споживача протягом минулого року – $TB = 8760$ год. Комерційний облік зафіксував:

Активна ЕЕ – $WP = 148906$ кВт·год.

Реактивна ЕЕ – $WQ = 192528$ квар·год.

Розрахункове значення коефіцієнта реактивного навантаження споживача, що відповідає діючому значенню його реактивної потужності, за формулою (5):

$$\text{tg} \varphi_P = \frac{192528,0}{\sqrt{2} \cdot 148906,0} = 0,945 \text{ в. о.}$$

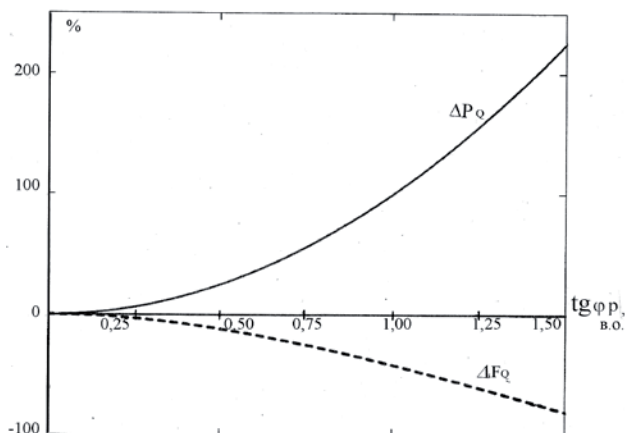


Рис. 2. Вплив реактивного навантаження на її економічність



Рис. 3. Принципова схема СЕП реального споживача

Активні втрати споживача від реактивного навантаження СЕС (порівняно до таких втрат від його активного навантаження), визначені за формулою (6):

$$\Delta P_Q = 0,945^2 \cdot 10^2 = 89,3 \text{ \%}$$

Зменшення пропускної спроможності СЕП споживача від його реактивного навантаження, що визначається за формулою (10):

$$-\Delta F_Q = (1 - \sqrt{1 + 0,945^2}) \cdot 100 = -37,56 \text{ \%}$$

Якщо прийняти $\text{tg } \varphi_D = 0,25$ в. о., то при цьому: За формулою (5):

$$\Delta P_Q = 0,25^2 \cdot 10^2 = 6,25 \text{ \%}$$

За формулою (9):

$$-\Delta F_Q = (1 - \sqrt{1 + 0,25^2}) \cdot 100 = -3,08 \text{ \%}$$

Як можна бачити, за директивного значення коефіцієнта реактивного навантаження споживача $\text{tg } \varphi_D = 0,25$ в. о., активні втрати електропередачі від реактивного навантаження зменшились у 14 разів, а пропускна спроможність електропередачі збільшилась у 12,2 разів.

5. Обговорення результатів дослідження оптимального коефіцієнту реактивного навантаження

Таким чином, оптимальний коефіцієнт реактивного навантаження системи електропостачання конкретного споживача ЕЕ може слугувати економічною характе-

ристикою електроспоживання, а його реальне значення може бути використане споживачем для оптимізації роботи власних пристроїв компенсації реактивного навантаження. Електропостачальні організації можуть його використовувати при визначенні плати споживачів за спожиту у розрахунковому періоді ЕЕ.

6. Висновки

В результаті проведених досліджень можна зробити висновки:

1. Реактивна ЕЕ на відміну від активною, змінюється за синусоїдальним законом і може мати поточне, амплітудне і діюче значення.

2. При визначенні збитку від реактивного навантаження споживачів необхідно враховувати значення коефіцієнта реактивної потужності, що відповідає діючому значенню періоду.

3. У нормативному порядку необхідно встановити на державному рівні оптимальні значення коефіцієнтів реактивного навантаження систем електропостачання конкретним споживачам у залежності від номінальної напруги джерел їх живлення.

4. Теоретично і практично реактивна електроенергія як внутрішня складова енергії електроенергетичної системи змінюється за синусоїдальним характером і має, математичне, діюче та амплітудне значення.

5. Незважаючи на те, що реактивна електроенергія — це внутрішня енергія системи електропостачання конкретного споживача, вона збільшує активні втрати і зменшує пропускну спроможність електричних мереж не тільки такої системи, але й мереж електропостачальної організації.

6. Зважаючи на економічний збиток від реактивного навантаження систем електропостачання конкретних споживачів електроенергії, необхідно розробити алгоритми визначення реального збитку від такого навантаження.

7. На роль критерію для визначення економічного збитку від реактивного навантаження системи електропостачання конкретного споживача претендує коефіцієнт її реактивної потужності, який відповідає діючому значенню реактивного навантаження споживача.

8. Середній, протягом року, коефіцієнт реактивної потужності системи електропостачання конкретних споживачів необхідно встановити у директивних документах, виходячи з оптової ціни електроенергії енергоринку.

9. Усі нормативні документи, що пов'язані з реактивним навантаженням конкретних споживачів електроенергії і діють сьогодні в Україні, потребують перероблення з метою їх вдосконалення.

Література

- Дорошенко, О. І. Про моделювання електроенергетичних систем [Текст] / О. І. Дорошенко // Технологічний аудит та резерви виробництва. — 2014. — № 5/3(19). — С. 4–8. doi:10.15587/2312-8372.2014.27920.
- 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.
- 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.

4. 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.
5. Методика визначення нераціонального (неефективного) використання паливно-енергетичних ресурсів [Текст]: Наказ Національного агентства України з питань забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів. — Київ, 2009. — 13 с.
6. Литвак, Л. В. Повышение коэффициента мощности на промышленных предприятиях [Текст] / Л. В. Литвак. — Л.: Госэнергоиздат, 1957. — 191 с.
7. Банін, Д. Б. Економічні еквіваленти реактивної потужності. Математичний та чисельний аналіз [Текст] / Д. Б. Банін, О. С. Яндутьський, М. Д. Банін, А. М. Боднар, А. В. Гнатівський // Промелектро. — 2004. — № 1. — С. 22–33.
8. Рогальський, Б. С. Про використання економічних еквівалентів реактивної потужності для визначення плати за перетікання реактивної електроенергії між енергопостачальними компаніями і їх споживачами [Текст] / Б. С. Рогальський, О. М. Нанака // Промелектро. — 2004. — № 4. — С. 44–51.
9. Рогальський, Б. С. Економічні еквіваленти реактивної потужності (ЕЕРП) та їх використання [Текст] / Б. С. Рогальський, О. М. Нанака // Вісник ВПІ. — 2005. — № 6. — С. 126–129.
10. Демов, О. Д. Про розрахунок економічного еквівалента реактивної потужності [Текст] / О. Д. Демов, Ю. А. Григораш, О. П. Паламарчук, І. О. Бандура // Промелектро. — 2010. — № 2. — С. 3–7.
11. 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:10.15587/2312-8372.2014.29965

ПРО ОПТИМАЛЬНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Опираясь на физику электропередачи в электроэнергетических системах, в статье предлагается при расчетах их режимов использовать не амплитудное значение реактивной мощности, которым оперируют при этом, обычно, а его действующее значение. Доказано, такая практика существует в наше время из-за того, что на государственном уровне существуют нормативные документы, которые требуют плату потребителей за реактивную электроэнергию.

Ключевые слова: электроэнергия, электроснабжение, реактивная нагрузка, коэффициент реактивной мощности.

Дорошенко Олександр Іванович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра електропостачання та енергоменеджменту, Одеський національний політехнічний університет, Україна, e-mail: dai1938@yandex.ua.

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

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

УДК 378.14.015.62

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.36977

Полковніченко Д. В.,
Москвіна І. І.

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ ДЛЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ

В роботі проведено аналіз основних проблем, які існують в професійній освіті України, наслідком яких є низький рівень підготовки фахівців, що не задовольняє потреби роботодавців в галузі електроенергетики. Результатами роботи є дослідження основних задач покращення якості професійної освіти і шляхів їх вирішення. Розглянуто позитивні приклади, які впроваджуються в Україні та зарубіжних країнах.

Ключові слова: електроенергетика, вища освіта, роботодавець, якість освіти, професійний стандарт, науково-технічна діяльність.

1. Вступ

Електроенергетика виступає в якості однієї з головних галузей промисловості будь-якої країни й за рівнем її розвитку можна судити і про розвиток економіки цієї країни в цілому. Електроенергетика дозволяє забезпечити технологічні процеси інших галузей промисловості та нормальні умови для життя населення.

Нажаль, за роки своєї незалежності Україна за рівнем розвитку енергетики й інших галузей промисловості істотно відстала від передових країн світу. Основними причинами цього є:

— велика зношеність основних фондів;

— недостатнє фінансування галузі;

— падіння рівня кваліфікації персоналу;

— слабкі зв'язки між технічною наукою та виробництвом.

Для забезпечення переходу електроенергетики України на інноваційний шлях розвитку крім постійного переоснащення галузі сучасним устаткуванням; переходу енергетики на нові стандарти надійності і якості електропостачання, конкурентоздатні технології, нові форми організації й фінансування діяльності також необхідне підвищення рівня підготовки та кваліфікації кадрів; створення умов для ефективного впровадження у практику результатів науково-технічної діяльності.