

Р. О. Буйний<sup>1</sup>  
З. О. Тимошенко<sup>2</sup>

## ЗМЕНШЕННЯ ВТРАТ ПОТУЖНОСТІ НА КОРОНУ В ЛІНІЯХ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ НАПРУГОЮ 330—750 кВ

<sup>1</sup>Чернігівський національний технологічний університет;

<sup>2</sup>Північні високовольтні електричні мережі ПАТ «Чернігівобленерго»

*Розраховано величини середньорічних втрат потужності на корону в лініях електропередавання напругою 330—750 кВ з проводами марки АС із нормативною кількістю проводів у розщепленій фазі та кількістю проводів, що на один більше. Показано, що збільшення кількості проводів у фазі лінії на один зі збереженням ефективного перерізу дозволяє суттєво підвищити її ефективність. Також розраховано середньорічні втрати потужності на корону для ліній 330 кВ з проводами марки АЕРО-Z. Оскільки вартість таких проводів у шість разів більша за проводи марки АС, то їх застосування може бути виправданим лише на ЛЕП, що проходять у 4—6 районах за ожеледдю.*

**Ключові слова:** втрати на корону, лінія електропередавання, розщеплення фаз, економічна ефективність.

### Вступ

Проблема втрат потужності та електричної енергії в елементах електричних мереж (ЕМ) розглядається у багатьох роботах [1—3]. Проте, більшість з цих робіт стосується розподільних електричних мереж. Тому автори статті показали, що втрати потужності на корону в системоутворюючих ЕМ 330—750 кВ теж мають суттєве значення та можуть бути зменшені, що підтверджують нижченаведені техніко-економічні розрахунки.

### Основні матеріали досліджень

Існуючі високовольтні лінії електропередавання (ЛЕП) 330—750 кВ відповідають вимогам ПУЕ [4] щодо їх конструкції, зокрема кількості проводів у розщепленій фазі. Як відомо, кількість проводів у фазі суттєво впливає на середньорічні втрати потужності на корону та рівень електромагнітних завад, що створює ЛЕП. Проте, як показують розрахунки, величина таких втрат у грошовому еквіваленті має суттєве значення у електричних мережах як України, так і ближнього зарубіжжя.

Сьогодні діючими нормативними документами щодо розрахунку втрат потужності на корону є: [5] — для вибору проводів ЛЕП та [6] — під час складання балансів електричної енергії в електричних мережах.

В [5] наведено метод розрахунку середньорічних втрат потужності на корону. Згідно з цим методом середньорічні втрати потужності на корону для трифазної лінії обчислюються шляхом додавання втрат потужності по фазах для кожної групи погоди:

$$Pk = nr_0 \left( (2\theta_{x.n.1} + \theta_{x.n.2}) \psi_{x.n.} + (2\theta_{c.c.1} + \theta_{c.c.2}) \psi_{c.c.} + (2\theta_{d.1} + \theta_{d.2}) \psi_{d.} + (2\theta_{из.1} + \theta_{из.2}) \psi_{из.} \right), \quad (1)$$

де  $\theta_{x.n.1}$ ,  $\theta_{c.c.1}$ ,  $\theta_{d.1}$ ,  $\theta_{из.1}$  — значення узагальнених втрат потужності на корону для різних груп погоди на крайніх фазах ПЛ;  $\theta_{x.n.2}$ ,  $\theta_{c.c.2}$ ,  $\theta_{d.2}$ ,  $\theta_{из.2}$  — значення узагальнених втрат потужності на корону на середній фазі ПЛ для різних груп погоди;  $\psi_{x.n.}$ ,  $\psi_{c.c.}$ ,  $\psi_{d.}$ ,  $\psi_{из.}$  — ймовірність різних груп погоди за рік.

Значення втрат на корону для фаз ліній електропередавання визначаються за залежностями узагальнених характеристик втрат на корону від відношення еквівалентної напруженості електричного поля при  $n$ -у розщепленні проводу до початкової напруженості електричного поля на проводі.

Припускаючи, що ЛЕП системоутворювальних ЕМ працюють цілий рік, та знаючи середньорічні втрати потужності на корону, можна знайти втрати електричної енергії за відомою формулою

$$\Delta W = P_k \cdot l \cdot 8760, \quad (2)$$

де  $P_k$  — значення питомих середньорічних втрат потужності на корону для трифазної ЛЕП;  $l$  — довжина лінії.

Згідно з вищезгаданою методикою [5] розраховано середньорічні втрати потужності та електричної енергії на корону для ЛЕП 330—750 кВ з проводами марки АС з нормованою кількістю проводів у фазах та кількістю проводів, що на один більше. Всі розрахунки зроблені для ЛЕП довжиною 100 км. Результати зведені в табл. 1—3.

Таблиця 1

**Результати розрахунку середньорічних втрат потужності та електричної енергії на корону для ЛЕП 330 кВ**

Назва параметра	Значення параметрів для ЛЕП 330 кВ						
	з 2-ма проводами у фазі марки				з 3-ма проводами у фазі марки		
	АС 240/32	АС 300/39	АС 330/42	АС 400/22	АС 185/43	АС 240/32	АС 300/39
Сумарний переріз фази $F_{\Sigma}$ , мм <sup>2</sup>	480	600	660	800	555	720	900
Середньорічні втрати потужності на корону $\Delta P_k$ , кВт/км	4,11	3,34	2,608	2,545	1,538	1,217	0,913
Втрати електричної енергії на корону $\Delta W_k^*$ , млн кВт·год/рік	3,6	2,929	2,285	2,229	1,348	1,066	0,7994

Примітка. \* — для ЛЕП довжиною 100 км.

Таблиця 2

**Результати розрахунку середньорічних втрат потужності та електричної енергії на корону для ЛЕП 500 кВ**

Назва параметра	Значення параметрів для ЛЕП 500 кВ							
	з 3-ма проводами у фазі марки				з 4-ма проводами у фазі марки			
	АС 300/39	АС 330/42	АС 400/22	АС 500/27	АС 240/32	АС 300/39	АС 330/42	АС 400/22
Сумарний переріз фази $F_{\Sigma}$ , мм <sup>2</sup>	900	990	1200	1500	960	1200	1320	1600
Середньорічні втрати потужності на корону $\Delta P_k$ , кВт/км	10,54	8,64	7,18	5,62	5,577	4,35	3,78	3,4
Втрати електричної енергії на корону $\Delta W_k^*$ , млн кВт·год/рік	9,24	7,567	6,29	4,92	4,886	3,811	3,31	2,98

Примітка. \* — для ЛЕП довжиною 100 км.

Таблиця 3

**Результати розрахунку середньорічних втрат потужності та електричної енергії на корону для ЛЕП 750 кВ**

Назва параметру	Значення параметрів для ЛЕП 750 кВ						
	з 4-ма проводами у фазі марки		з 5-ма проводами у фазі марки				
	АС 400/22	АС 500/27	АС 240/32	АС 300/39	АС 330/42	АС 400/22	АС 500/27
Сумарний переріз фази $F_{\Sigma}$ , мм <sup>2</sup>	1600	2000	1200	1500	1650	2000	2500
Середньорічні втрати потужності на корону $\Delta P_k$ , кВт/км	15,089	20,45	12,5	17,7	14,48	13,399	9,33
Втрати електричної енергії на корону $\Delta W_k^*$ , млн. кВт·год/рік	13,2	17,92	10,95	15,51	12,69	11,74	8,173

Примітка. \* — для ЛЕП довжиною 100 км.

З табл. 1—3 видно, що зі збільшенням кількості проводів у фазі (при збереженні її сумарного перерізу) середньорічні втрати потужності та електричної енергії на корону істотно зменшуються. Наприклад, для ЛЕП 330 кВ, виконаної проводом 2×АС-400/22, середньорічні втрати потужності на корону становитимуть 2,545 кВт/км, а активні втрати електричної енергії від явища корони — 2,229 млн кВт·год/рік. Якщо ж фазу цієї ЛЕП виконати проводом 3×АС 240/32, то середньорічні втра-

ти потужності на корону становитимуть 1,217 кВт/км, а втрати електричної енергії на 100 км лінії — 1,066 млн кВт·год/рік, що істотно менше, ніж при традиційному розщепленні фази на 2 проводи.

Оскільки порівнюються варіанти ЛЕП з однаковим сумарним перерізом, але з різною кількістю проводів у фазі, то вага проводу в порівнюваних варіантах буде приблизно однаковою. Відповідно можна вважати, що опори для таких ЛЕП будуть однаковими, і вартість їх спорудження у розглянутих варіантах буде також однаковою. Різниця буде лише у вартості проводу і дистанційних розпірок.

Тому для оцінки економічної доцільності використання більшої кількості проводів у фазі розраховано витрати на сам провід та дистанційні розпірки ЛЕП напругою 330—750 кВ. Вартість проводу взята з [7]. За результатами розрахунків побудовані графіки залежностей витрат на дистанційні розпірки та провід від сумарного перерізу фази (див. рис. 1—3).

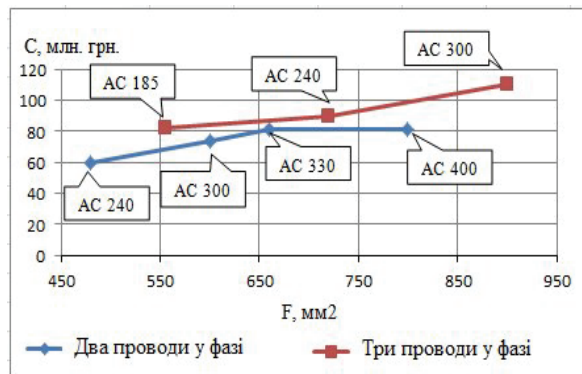


Рис. 1. Залежності витрат на дистанційні розпірки та провід від сумарного перерізу фази ЛЕП 330 кВ

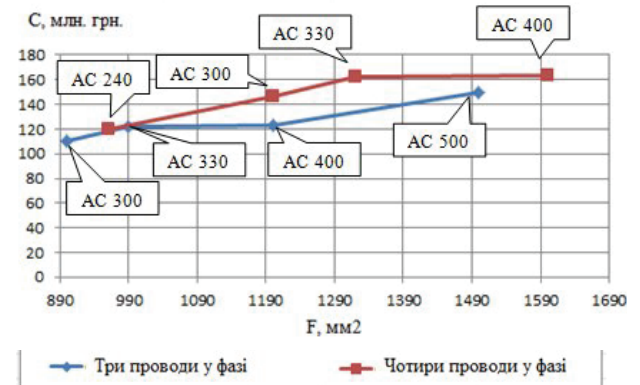


Рис. 2. Залежності витрат на дистанційні розпірки та провід від сумарного перерізу фази ЛЕП 500 кВ

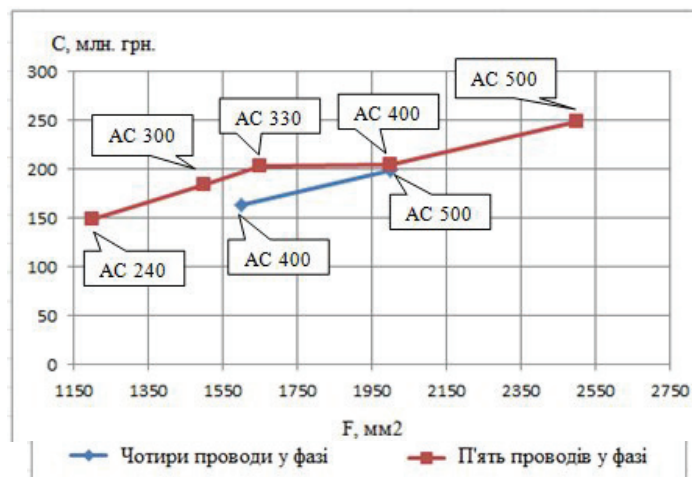


Рис. 3. Залежності витрат на дистанційні розпірки та провід від сумарного перерізу фази ЛЕП 750 кВ

Як видно із залежностей, зображених на рис. 1, вартість витрат на провід і дистанційні розпірки ЛЕП 330 кВ довжиною 100 км становить:

- виконаної проводом 2хАС 400/22 — 81,71 млн грн;
- виконаної проводом 3хАС 240/32 — 89,52 млн грн.

Тобто ЛЕП 330 кВ з трьома проводами у фазі буде на 7,81 млн грн дорожче. При цьому можна зекономити 1,163 млн кВт·год електроенергії на рік на 100 км ЛЕП. Вважаючи, що така кількість електричної енергії могла бути продана на оптовому ринку для постачальників за регульованим тарифом за ціною 0,751 грн/кВт·год (з ПДВ, станом на січень 2015 року), то економія у грошовому еквіваленті буде становити 0,8734 млн грн/рік.

Згідно з [8] можна визначити термін окупності за формулою

$$T_{OK} = \frac{K}{E_t}, \quad (3)$$

де  $E_t$  — ефект (річний прибуток) у  $t$ -му році;  $K$  — капітальні вкладення, в результаті яких було отримано прибуток.

Тобто в нашому випадку термін окупності буде складати

$$T_{OK} = \frac{7,81}{0,8734} = 8,94 \text{ роки.}$$

Якщо взяти розрахунковий термін експлуатації ЛЕП 40 років та припустити, що ціни на оптовому ринку електроенергії будуть змінюватися пропорційно рівню інфляції, то інтегральний ефект (у цінах 2015 року) за 40 років експлуатації такої лінії буде складати:

$$IE_{40} = 40 \cdot E_t - K = 40 \cdot 0,8734 - 7,81 = 27,136 \text{ млн грн/100 км.}$$

Аналогічно можна отримати інтегральний ефект для ЛЕП 500 та 750 кВ, виконаних з кількістю проводів у фазі, що на один більше ніж нормативна.

Результати таких розрахунків показують, що збільшення кількості проводів у розщепленій фазі ЛЕП на один приводить до суттєвого економічного ефекту, який складає десятки мільйонів гривень на 100 км ЛЕП впродовж терміну їх експлуатації.

Останнім часом набувають популярності нові провідники для ліній електропередавання 110—750 кВ типу AERO-Z. Згідно з [9] такі проводи дозволяють знизити середньорічні втрати на корону, і підвищити механічну міцність ЛЕП. Рекомендації щодо застосування таких проводів наведено у [10]. Для кількісної оцінки ефективності застосування проводів типу AERO-Z проведено розрахунки втрат потужності та електричної енергії від явища корони для ЛЕП 330 кВ (табл. 4).

Таблиця 4

Результати розрахунку середньорічних втрат потужності та електричної енергії на корону для ЛЕП 330 кВ, виконаної проводом AERO-Z

Назва параметра	Значення параметрів для ЛЕП 500 кВ							
	з 2-ма проводами у фазі марки				з 3-ма проводами у фазі марки			
	AERO-Z 242	AERO-Z 261	AERO-Z 301	AERO-Z 346	AERO-Z 242	AERO-Z 261	AERO-Z 301	AERO-Z 346
Сумарний переріз фази $F_{\Sigma}$ , мм <sup>2</sup>	484	522	602	692	726	783	903	1038
Середньорічні втрати потужності на корону $\Delta P_k$ , кВт/км	1,324	1,266	1,0075	0,865	0,385	0,32	0,248	0,253
Втрати електричної енергії на корону $\Delta W_k^*$ , млн кВт·год/рік	1,16	1,1	0,8825	0,758	0,3375	0,2809	0,2168	0,222

З табл. 4 видно, що проводи типу AERO-Z дійсно суттєво зменшують середньорічні втрати потужності та електричної енергії на корону, але вартість таких проводів приблизно у шість разів більша за вартість проводу марки АС. Тому говорити про їх економічну ефективність можна буде тільки після додаткових досліджень. Причому їх слід проводити для ЛЕП, що проходять у 4—6 районах за ожеледдю з урахуванням вартості апаратури для плавлення ожеледі та вартості електричної енергії, що витрачається при цьому.

### Висновки

Для зменшення середньорічних втрат потужності на корону у ЛЕП 330—750 кВ системоутворюючих ЕМ економічно доцільно збільшувати на один кількість проводів у фазі зі збереженням ефективного перерізу.

Застосування на таких ЛЕП проводів типу AERO-Z також дозволяє зменшити середньорічні втрати на корону навіть за застосування нормативної кількості проводів у фазі. Проте, застосування таких проводів може бути виправданим лише на ЛЕП, що проходять у 4—6 районах з ожеледдю. Для цього необхідно зробити додаткові техніко-економічні розрахунки з урахуванням вартості апаратури для плавлення ожеледі та вартості електричної енергії, що витрачається при цьому.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Железко Ю. С. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях : Руководство для практических расчетов / Ю. С. Железко, А. В. Артемьев, О. В. Савченко. — М. : НЦ ЭНАС, 2006. — 280 с.
2. Ратнер В. М. Снижение технологического расхода электроэнергии на ВЛ-35 кВ и выше при транспонировании проводов и изоляции троса / В. М. Ратнер, Е. В. Иванова, А. С. Кириенко // Энергетика та електрифікація. — 2015. — № 4. — С. 3—7.
3. Зорин В. В. Модели и методы расчета и оценки потерь мощности и электрической энергии в распределительных сетях 0,38кВ / В. В. Зорин, Р. А. Буйный, В. А. Перепеченый // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. — 2015. — № 5 (136). — С. 19—27.
4. Правила улаштування електроустановок. Розділ 2. Передавання електроенергії. Глава 2.5 Повітряні лінії електропередавання напругою вище 1 кВ до 750 кВ. — К. : Міненерговугілля — 2014.
5. РД 34.20.172-1975 Руководящие указания по учету потерь на корону и помех от короны при выборе проводов воздушных линий электропередачи переменного тока 330—750 кВ и постоянного тока 800—1500 кВ.
6. СОУ-Н ЕЕ 40.1-37471933-54:2011 Визначення технологічних витрат електричної енергії в трансформаторах і лініях електропередавання. Методика. / Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. — Київ, 2011.
7. Сайт компанії SimpleCableCompany [Електронний ресурс]. — Режим доступу : [http://cablecompany.com.ua/neizolirovannyj\\_provod/provod\\_AS](http://cablecompany.com.ua/neizolirovannyj_provod/provod_AS).
8. ГКД 340.000.002-97 Визначення економічної ефективності капітальних вкладень в енергетику. Методика. Енергосистеми і електричні мережі / Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. — Київ, 2011.
9. Повышение пропускной способности ЛЭП [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://forca.ru/stati/vl/povyshenie-propusknoy-sposobnosti-lep.html>.
10. СОУ-Н МЕВ 40.1-37471933-62:2012 Проектування електричних мереж з урахуванням протиожелезових заходів / Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. — Київ, 2012.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 2.11.2015

**Буйний Роман Олександрович** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електричних систем і мереж, e-mail: [buiniyroman@rambler.ru](mailto:buiniyroman@rambler.ru).

Чернігівський національний технологічний університет, Чернігів;

**Тимошенко Зорина Олегівна** — інженер виробничо-технічного відділу Північних високовольтних електричних мереж.

Північні високовольтні електричні мережі ПАТ «ЧЕРНІГІВ ОБЛЕНЕРГО», Чернігів

**R. O. Buinyi**<sup>1</sup>  
**Z. O. Tymoshenko**<sup>2</sup>

## Reducing Corona Discharge Power Losses in 330—750 kV Power Transmission Lines

<sup>1</sup>Chernigiv National University of Technology;

<sup>2</sup>North High Voltage Electrical Networks of PJSC «Chernigivoblenergo»

*There has been calculated the average corona discharge power loss in 330—750 kV power transmission lines with conductors of type ACSR for cases when the number of wires in the bundle conductor is standard or exceeds the standard by one. It is shown that increasing the number of wires in the bundle conductor by one, while maintaining effective cross-section, can significantly improve the line effectiveness. Also there has been calculated the average corona discharge power loss in 330 kV power transmission lines with conductor of type AERO-Z. Since the cost of such conductors is six times higher than the cost of ACSR conductors, their usage can be economically justified only in 4—6th areas by icing classification.*

**Keywords:** corona losses, transmission line, phase splitting, economic efficiency.

**Buinyi Roman O.** — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of the Chair of Power Networks and Systems, e-mail: [buiniyroman@rambler.ru](mailto:buiniyroman@rambler.ru);

**Tymoshenko Zorina O.** — Engineer of Production and Technical Department of North High Voltage Electrical Networks

**Р. А. Буйный<sup>1</sup>**  
**З. О. Тимошенко<sup>2</sup>**

## **Уменьшение потерь мощности на корону в линиях электропередач напряжением 330—750 кВ**

<sup>1</sup>Черниговский национальный технологический университет;

<sup>2</sup>Северные высоковольтные электрические сети ПАО «Черниговоблэнерго»

*Рассчитаны величины среднегодовых потерь мощности на корону в линиях электропередачи напряжением 330—750 кВ с проводами марки АС при нормативном количестве проводов в расщепленной фазе и количестве проводов, превышающем на один норматив. Показано, что увеличение количества проводов в фазе линии на один при сохранении эффективного сечения позволяет существенно повысить ее эффективность. Также рассчитаны среднегодовые потери мощности на корону для линий 330 кВ с проводами марки АЕРО-Z. Поскольку стоимость таких проводов в шесть раз больше по сравнению с проводами марки АС, то их использование может быть оправданным только на ЛЭП, которые проходят в 4—6 районах по гололеду.*

**Ключевые слова:** потери на корону, линия электропередачи, расщепление фаз, экономическая эффективность.

*Буйный Роман Александрович* — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры электрических систем и сетей, e-mail: buiniyroman@rambler.ru;

*Тимошенко Зорина Олеговна* — инженер производственно-технического отдела Северных высоковольтных электрических сетей.