

**ЕНЕРГЕТИКА
ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ
ТЕХНОЛОГІЇ В АПК**

2017, № 1 (6)

Міністерство освіти і науки України
Ministry of Education and Science of Ukraine

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ

SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

**ЕНЕРГЕТИКА ТА КОМП'ЮТЕРНО-
ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ В АПК**

2017, № 1 (6)

**POWER ENGINEERING AND COMPUTER
INTEGRATED TECHNOLOGIES IN AIC**

2017, # 1 (6)

Харків – 2017 – Kharkiv

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ
"ЕНЕРГЕТИКА ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ В АПК"

SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL
"POWER ENGINEERING AND COMPUTER INTEGRATED TECHNOLOGIES IN AIC"

Журнал "Енергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК" містить оглядові статті та результати досліджень у відповідності із рубриками:

- Енергозабезпечення споживачів АПК
- Енергоменеджмент та автоматизація управління в системах електро- та тепlopостачання
- Електрообладнання та раціональне використання електричної енергії в АПК
- Ресурсозберігаючі електротехнології сільськогосподарського виробництва
- Вплив електромагнітних полів та пружних коливань на біологічні об'єкти сільськогосподарського призначення
- Комп'ютерно-інтегровані технології, системи та засоби автоматизації

Журнал призначений для наукових працівників, викладачів, аспірантів, інженерно-технічного персоналу і студентів, які спеціалізуються у відповідних або суміжних галузях науки та напрямках виробництва.

Засновник: Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка.

Журнал виходить 2 рази на рік. Мова видання: українська, російська, англійська.

Затверджено до друку рішенням Вченої ради Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка (протокол № 04 від 28.12.2017).

Наукове фахове видання

Включено до переліку наукових фахових видань України за наказом Міністра освіти і науки України № 1328 від 21.12.2015.

ISSN 2311-0767

© Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, 2017.

The journal "Power engineering and computer integrated technologies in AIC" contains review articles and research results in accordance with sections:

- Energy supply of AIC consumers
- Energy management and automation of control of electricity and heat supply systems
- Electrics and efficient use of electrical energy in AIC
- Resource saving electric technologies of agricultural production
- Effects of electromagnetic fields and elastic waves on biological objects of agriculture
- Computer integrated technologies, systems and means of automation

The journal is designed for researchers, teachers, postgraduate students, engineering and technical staff and students who specialize in respectively or related fields of science and production directions.

Founder: Kharkiv Petro Vasyienko National Technical University of Agriculture.

The journal is published 2 times per year. Languages of publication: Ukrainian, Russian and English.

Approved for publication by decision of the Academic council of Kharkiv Petro Vasyienko National Technical University of Agriculture (report № 04 from 28.12.2017).

ISSN 2311-0767

© Kharkiv Petro Vasyienko National Technical University of Agriculture, 2017.

Редакційна колегія:

Головний редактор – д.т.н., професор
Мороз О. М. (Харків);
Заступник головного редактора – д.т.н., професор,
академік Академії наук вищої освіти України
Фурман І. О. (Харків).

Члени редакційної колегії:

Нанка О. В. – к.т.н., доцент, академік Інженерної
Академії України (Харків);

Козирський В. В. – д.т.н., професор (Київ);

Косуліна Н. Г. – д.т.н., професор (Харків);

Лисенко В. П. – д.т.н., професор (Київ);

Лисиченко М. Л. – д.т.н., професор (Харків);

Мірошник О. О. – д.т.н., доцент (Харків);

Кунденко М. П. – д.т.н., професор (Харків);

Діордієв В. Т. – д.т.н., професор (Мелітополь);

Красовский Є. – д.т.н., професор, Президент
Польської Академії наук (Польща);

Гуревич В. І. – к.т.н. (Ізраїль);

Малиновський М. Л. – д.т.н., професор (Франція);

Волосяк І. – д.т.н., професор (Німеччина);

Постолатій В. М. – д.т.н., професор, академік
Академії наук Молдови (Молдова);

Росоловський Е. – д.т.н., професор (Польща);

Екель П. – д.т.н., професор (Бразилія).

Адреса редакції:

ННІ ЕКТ, ХНТУСГ ім. П. Василенка,
вул. Різдва 19, Харків,
Україна, 61052
Тел.: +38 (057) 712-52-45
Сайт: <http://electrofak.com.ua>
E-mail: fect_mail@ukr.net

Editorial Broad:

Editor-in-Chief – **Moroz O. M.**, Full Doctor (Engr.),
Professor (Kharkiv);
Deputies of Editor-in-Chief – **Furman I. O.**, Full Doctor
(Engr.), Member of Higher Education Academy of
Sciences of Ukraine (Kharkiv).

Editorial Staff:

Nanka O. V. – PhD (Engr.), Associate Professor, Member
of Engineering Academy of Ukraine (Kharkiv);

Kozirskiy V. V. – Full Doctor (Engr.), Professor (Kyiv);

Kosulina N. G. – Full Doctor (Engr.), Professor
(Kharkiv);

Lisenko V. P. – Full Doctor (Engr.), Professor (Kyiv);

Lysychenko N. L. – Full Doctor (Engr.), Professor
(Kharkiv);

Miroshnik O. O. – Full Doctor (Engr.), Associate
Professor (Kharkiv);

Kundenko M. P. – Full Doctor (Engr.), Professor
(Kharkiv);

Diordiyev V. T. – Full Doctor (Engr.), Professor
(Melitopol);

Krasowski E. – Full Doctor (Engr.), Professor, President
of Polska Akademia Nauk (Poland);

Gurevich V. – PhD (Engr.) (Israel);

Malinovsky M. L. – Full Doctor (Engr.), Professor
(France);

Volosyak I. – Full Doctor (Engr.), Professor (Germany);

Postolati V. M. – Full Doctor (Engr.), Professor, Member
of Academy of Sciences of Moldova (Moldova);

Rosolowski E. – Full Doctor (Engr.), Professor (Poland);

Ekel P. – Full Doctor (Engr.), Professor (Brasil).

Editorial address:

ERI EECT, KhNTUA,
Rizdviana Str. 19, Kharkiv,
Ukraine, 61052
Tel.: +38 (057) 712-52-45
Syte: <http://electrofak.com.ua>
E-mail: fect_mail@ukr.net

З М І С Т

ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СПОЖИВАЧІВ АПК

Застосування передвключених активних опорів для подавлення резонансних перенапруг у несинусоїдальних режимах ліній електропередач <i>Тугай Ю. І., Кучанський В. В., Мельничук В. А.</i>	7
Моделювання режимів роботи компенсованих ліній електропередачі <i>Лиховид Ю. Г., Тугай І. Ю.</i>	10
Моделювання несиметричних режимів роботи лінії електропередачі <i>Кузнецов В. Г., Нікішин Д. А., Тугай Р. Ю.</i>	13
Дослідження дугових перенапруг у випадку одно- і двофазних замикань на землю у розподільній мережі з ізольованою нейтраллю <i>Сабарно Л. Р., Кошман В. І., Севастюк І. М.</i>	17
Порівняльна оцінка методів і засобів розробки та впровадження інверторів напруги з найкращими показниками якості вихідної енергії <i>Лисиченко Р. М.</i>	22

ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРО- ТА ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

Аналіз метеопараметрів для погодинного прогнозування виробітку електроенергії фотовольтаїчними електростанціями на добу наперед <i>Лежнюк П. Д., Комар В. О., Кравчук С. В., Дідіченко Є. С.</i>	27
Кратність резервування елементів енергосистеми в умовах кібербезпеки <i>Гриб О. Г., Швець С. В., Бортніков О. В.</i>	32
Метод визначення оптимальної встановленої потужності генерування електроенергії відновлювальним джерелами енергії в електричних мережах <i>Бурякін О. Б., Малогулко Ю. В., Томашевський Ю. В., Семенюк Ю. В.</i>	35
Securing allowable voltage losses and standard voltage characteristics <i>I. Trupova</i>	40
Теоретичне обґрунтування ізоморфізму організаційної структури підприємства <i>Доценко С. І., Савенко В. І.</i>	43
Методика побудови математичної моделі місцевих систем енергопостачання з відновлюваними джерелами <i>Дудніков С. М.</i>	48

РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА

Теоретические исследования о возбуждении TM_{01} волны в отрезке круглого волновода <i>Кунденко Н. П., Егорова О. Ю., Бровка К. Ю., Кунденко А. Н.</i>	51
Екологічні фактори ресурсозабезпечення енергетичного сектора України <i>Кунденко М. П., Бородай І. І., Шинкаренко І. М., Бархатов О. М.</i>	54
Енергоощадні електротехнології та засоби боротьби з варроатозом бджіл <i>Санін Ю. К.</i>	57

Моделювання стаціонарних теплових полів струмопровідних шин різного профілю <i>Кириченко О. С., Костюченко В. І., Захаров Д. О.</i>	60
Усовершенствования электромагнитных систем однофазных трансформаторов и реакторов с витыми магнитопроводами <i>Садовой А. С.</i>	64

ВПЛИВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ ТА ПРУЖНИХ КОЛИВАНЬ НА БІОЛОГІЧНІ ОБ'ЄКТИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Опыт длительного хранения яблок обработанных перед хранением электромагнитным излучением <i>Федюшко А. Ю.</i>	67
Экспериментальные исследования с яблоками обработанных перед хранением электромагнитным излучением <i>Бородай И. И.</i>	70
Разработка метода расчёта и проектирования компенсатора внеполосных помех <i>Гуцол Т. Д.</i>	73

КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ, СИСТЕМИ ТА ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Концепція побудови автомата паралельної дії із нечіткою логікою для формування інтелектуального ядра SMART GRID <i>Бовчалюк С. Я., Тимчук С. О., Фурман І. О.</i>	76
Intellectual diagnostics of linearly distributed objects using wireless sensor networks <i>Krivoulya G. F., Obasikene Emmanuel Chukwunonso, Vlasov V. A.</i>	80
Нечітка математична модель потужності сонячної батареї для системи підтримки прийняття рішень при керуванні гібридною електромережею <i>Тимчук С. О., Шендрик С. О.</i>	85
Досвід використання оптичних камер бпла для моніторингу стану азотного живлення зернових культур на прикладі кукурудзи <i>Лисенко В. П., Пасічник Н. А., Комарчук Д. С., Опришко О. О., Юхименко А. С.</i>	88
Визначення розподілених параметрів температури каркасних теплиць <i>Кашкаръов А. О., Діордієв В. Т., Діордієв О. О.</i>	91
Керування процесом вирощування томатів з урахуванням рівня сонячної радіації та стану рослини <i>Лисенко В. П., Лендел Т. І.</i>	96

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ВСТАНОВЛЕНОЇ ПОТУЖНОСТІ ГЕНЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИМ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

Бурикін О. Б.¹, Малогулко Ю. В.¹, Томашевський Ю. В.², Семенюк Ю. В.¹

¹Вінницький національний технічний університет,
²ПАТ "Вінницяобленерго"

В статті запропоновано метод визначення оптимальної встановленої потужності відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в електричних мережах (ЕМ). Оптимальну потужність генерування ВДЕ доцільно розв'язувати за комплексним критерієм, який враховує прибуток від функціонування ВДЕ, показники якості електроенергії та втрати на її транспортування електричними мережами. При визначенні показника якості електроенергії визначається імовірність забезпечення нормативного відхилення напруги та втрат електроенергії для заданого звітного періоду. Це дозволить мінімізувати можливі недоліки проектних рішень та покращити ефективність функціонування ЕМ.

Постановка проблеми. Стрімка децентралізація електропостачання споживачів, які пов'язані зі збільшенням вартості традиційних паливних ресурсів і проявляються у підвищенні частки розосередженого виробництва електроенергії за допомогою відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), призводить до ускладнення планування режимів електроенергетичних систем (ЕЕС) та оперативного керування ними. В зв'язку з цим, державна підтримка розбудови відновлюваної енергетики стимулює дослідження питань проектування та експлуатації ВДЕ з метою підвищення рівня енергетичної безпеки країни та зниження впливу енергетики на довкілля. Не зважаючи на це, питаннями транспортування електроенергії виробленої ВДЕ та функціонування районних електричних мереж (РЕМ) у нових експлуатаційних умовах часто нехтують вже на етапі проектування ВДЕ [1–2].

Не достатня дослідженість питань проектування та експлуатації ВДЕ, їх впливу на режими роботи електричних мереж (ЕМ), неузгодженість номінальних параметрів основного обладнання з потребами таких джерел, відсутність типових рішень стосовно засобів захисту та автоматизації процесу виробництва електроенергії в сучасних умовах не дозволяє приймати обґрунтовані проектні рішення під час їх розбудови, а також не дозволяє ефективно їх експлуатувати [3].

Таким чином, актуальну задачу оптимізації функціонування ВДЕ в локальних електричних системах можна розв'язувати як задачу проектування – для визначення оптимальної встановленої потужності, та як експлуатаційну задачу – для оптимізації добових режимів генерування відновлюваних джерел та схеми видачі електроенергії мережами локальних електричних систем з ВДЕ. Це дозволить підвищити прибутковість енергопостачальних та енергогенерувальних компаній за рахунок покращення експлуатаційних характеристик електрообладнання ЕМ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В сучасній інженерній практиці розв'язується ряд задач оптимізації режимів роботи розподільних електричних мереж з ВДЕ. Такі задачі, як автономна робота ВДЕ, розташування комутаційного обладнання та формування комунікаційної мережі тісно взаємопов'язані та практично не можуть бути розв'язані в

сучасних умовах [4]. Автономна робота ВДЕ, зважаючи на нестабільність цих джерел енергії, є фактично неможливою без розвинутої комунікаційної мережі, наявність якої дозволить отримувати двосторонній зв'язок між ВДЕ та споживачами електроенергії, відповідно до концепції Smart Grid [5], та регулювати режими електроспоживання підтримуючи умови автономної роботи.

Перераховані задачі розв'язують шляхом декомпозиції на задачі оптимізації функціонування ВДЕ та задачі функціонування ЕМ, кожна з яких розв'язують використовуючи один із критеріїв оптимальності, таких як: мінімум втрат електроенергії [6–7], якість електроенергії [8], надійність електропостачання, пропускна спроможність [9], швидкість відновлення напруги, максимум видачі потужності, максимум прибутку, мінімум інвестицій [10] тощо.

Метою статті є розроблення методу визначення оптимальної встановленої потужності ВДЕ в ЕМ. Оптимальну потужність генерування ВДЕ доцільно розв'язувати за комплексним критерієм, який враховує прибуток від функціонування ВДЕ, показники якості електроенергії та втрати на її транспортування мережами ЕМ. При визначенні показника якості електроенергії визначається імовірність забезпечення нормативного відхилення напруги та втрат електроенергії для заданого звітного періоду.

Основні матеріали дослідження. Для розв'язання задачі визначення оптимальної встановленої потужності за комплексним критерієм із урахуванням специфіки забезпечення рентабельності функціонування ЕМ, доцільно скористатись таким виразом сумарного прибутку від функціонування ВДЕ, поєднаних на паралельну роботу у ЕМ [11]

$$П^{ВДЕ} = \sum_{j=1}^n [u_j \cdot P_j^{ВДЕ} \cdot k_{\sigma_j} \cdot T], \quad (1)$$

де $P_j^{ВДЕ}$ – встановлена потужність j-го ВДЕ, кВт;

u_j – тариф на виробництво електроенергії j-м ВДЕ ("зелений тариф"), коп/кВт·год.;

k_{g_j} – коефіцієнт використання встановленої потужності j -го ВДЕ;
 T – тривалість графіка навантажень, год.

З урахуванням (1) цільова функція задачі вибору оптимальної встановленої потужності відновлюваних джерел енергії в ЛЕС має такий вигляд

$$Ц = П^{ВДЕ} \cdot e^{-z_1} \cdot e^{-z_2} \rightarrow \max, \quad (2)$$

за обмеження

$$\sum_{j=1}^n P_j^{ВДЕ} - \sum_{g=1}^m P_{H_g} \leq P_{сп}, \quad (3)$$

де e^{-z_1} , e^{-z_2} – експоненційні залежності, які визначають ступінь впливу складових критерію оптимальності функціонування;

$z_1 = k_1 \cdot (1 - \bar{P}(U_{y_{дон}}, T))$ – показник рівняння регресії, який враховує обмеження прибутку від функціонування ВДЕ за критерієм якості електроенергії;

$z_2 = k_2 \cdot (1 - \bar{P}(\Delta W_{дон}, T))$ – показник рівняння регресії, який враховує обмеження прибутку від функціонування ВДЕ за критерієм втрат електроенергії на її транспортування;

k_1 , k_2 – вагові коефіцієнти рівняння регресії, для коригування впливу частинних критеріїв оптимальності на результати оптимізації;

$\bar{P}(U_{y_{дон}}, T)$ – імовірність забезпечення нормативного відхилення напруги для заданого звітного періоду T ;

$\bar{P}(\Delta W_{дон}, T)$ – імовірність забезпечення нормативних втрат електроенергії для заданого звітного періоду T ;

P_{H_g} – потужність навантаження g -го вузла споживання;

$g = 1, 2, \dots, m$;

$P_{сп}$ – пропускна здатність електричних мереж ЛЕС, що обмежується найбільш слабкою ділянкою мережі.

Розв'язком задачі оптимізації (2) буде значення оптимальної встановленої потужності ВДЕ в мережі за умов багатоступеневого тарифу енергоринку ці та дотримання обмежень за пропускною здатністю ліній електропередачі та якістю електроенергії в ЛЕС.

Оцінювання імовірності забезпечення нормативного відхилення напруги для заданого звітного періоду. Відхилення напруги характеризується показником усталеного відхилення напруги δU_y . Воно є наслідком добових, сезонних і технологічних змін електричних навантажень споживачів, а також потужності компенсуючих пристроїв, регулювання напруги генераторами електростанцій та на підстанціях енергосистем, змін схеми електричних мереж.

Відхилення напруги δU_y – це різниця між фактичним U_t та номінальним U_n значеннями напруги в абсолютних одиницях

$$\delta U_y = \frac{|U - U_{ном}|}{U_{ном}}, \text{ в.о.} \quad (4)$$

Для нього встановлені норми:

– нормально допустимі та гранично допустимі значення усталеного відхилення напруги δU_y на вводах електроприймачів дорівнюють відповідно 5% та 10% від номінальної напруги електричної мережі;

– нормально допустимі та гранично допустимі значення напруги в точках загального приєднання споживачів електричної енергії до електричних мереж напругою 0,38 кВ і більше повинні бути встановлені в угодах на використання електричної енергії з урахуванням необхідності виконання чинного стандарту на виводах електроприймачів.

Якість електричної енергії відповідає вимогам стандарту, якщо всі значення усталеного відхилення напруги, що виміряні протягом 24 год., знаходяться в інтервалі, обмеженому гранично допустимими значеннями, а не менше 95% вимірювань за цей період знаходяться в інтервалі обмеженому нормально допустимими значеннями.

Статистичну оцінку ймовірності забезпечення нормативного відхилення напруги пропонується визначати за формулою для статистичної оцінки ймовірності безвідмовної роботи технічних засобів, що для нашої задачі набуде вигляду

$$\bar{P}(U_{y_{дон}}, T) = \frac{t_{сум}(U_{y_{\min}} \leq U_{y_{дон}} \leq U_{y_{\max}})}{T}, \quad (5)$$

де $t_{сум}(U_{y_{\min}} \leq U_{y_{дон}} \leq U_{y_{\max}})$ – сумарний час коли значення усередненої напруги знаходилось у допустимих межах.

Таким чином, використання ймовірності забезпечення нормативного відхилення напруги, в якості змінної в цільовій функції (2), дозволяє враховувати показник якості напруги під час розрахунку оптимального значення сумарного прибутку від експлуатації ВДЕ.

Оцінювання імовірності забезпечення нормативних втрат електроенергії та потужності. Для визначення ймовірності забезпечення нормативного відхилення втрат електроенергії у цільовій функції (2) використано вираз аналогічний (5)

$$\bar{P}(\Delta W_{дон}, T) = \frac{t_{сум}(\Delta W_{факт} \leq \Delta W_{дон})}{T}, \quad (6)$$

де $t_{сум}(\Delta W_{факт} \leq \Delta W_{дон})$ – сумарний час, впродовж якого значення втрат електроенергії знаходилось у межах нормативного відхилення;

$\Delta W_{факт}$ – фактичні втрати електроенергії в ЕМ, в.о.;

$\Delta W_{дон}$ – нормативні або гранично допустимі втрати електроенергії ЕМ, в.о.

Значення нормативних втрат електроенергії визначаються відповідно до нормативного обсягу технологічних витрат при транспортуванні електроенергії для II категорії споживачів та II класу електричних мереж (10 кВ) згідно з постановою НКРЕ [12] та внутрішніх норм енергопостачальної компанії, що визначаються для кожної ЛЕС на підставі аналізу добових графіків генерування та споживання мережі за попередні періоди.

Визначення вагових коефіцієнтів рівнянь регресії комплексного критерію оптимальності функціонування локальної електричної системи. Регресійні залежності

$e^{-k_1(1-\bar{P}(U_{don}, T))}$, $e^{-k_2(1-\bar{P}(\Delta W_{don}, T))}$ що запропоновані (2) є експоненційними функціями. Їх степеневі показники враховують обмеження прибутку від функціонування ВДЕ за рахунок невідповідної якості електроенергії та втрат електроенергії на її транспортування. Вагові коефіцієнти рівняння регресії, які визначають ступінь впливу критеріїв оптимальності функціонування, пропонується визначати за допомогою методів регресійного аналізу, що полягає в аналітичному виявленні вагових коефіцієнтів рівняння регресії на підставі статистичної інформації. Відповідно до правил користування електричною енергією [13], в разі постачання електричної енергії, параметри якості якої перебувають поза межами показників, зазначених у договорі про постачання електричної енергії, постачальник електричної енергії за регульованим тарифом несе відповідальність перед споживачем у розмірі двадцяти п'яти відсотків вартості обсягу такої енергії, тобто, за певних допущень, прибуток від експлуатації ВДЕ для вказаного часового інтервалу становитиме 75% відсотків від загального прибутку. Таким чином, значення вагового коефіцієнту k_1 регресійної залежності можна визначити для граничних умов $\bar{P}(U_{don}, T) = 0$ та $\bar{P}(U_{don}, T) = 1$ з експоненційної функції

$$e^{-k_1(1-0)} = 0,75; k_1 = -\ln(0.75) = 0.288.$$

За умови дотримання нормативного відхилення напруги, тобто у випадку коли $\bar{P}(U, T) = 1$ встановлене значення вагового коефіцієнту регресійної залежності не вплине на результати оптимізації.

Коефіцієнт кореляції регресійної залежності рівний 0,995, що свідчить про високу адекватність побудованої математичної моделі статистичним даним (рис. 1).

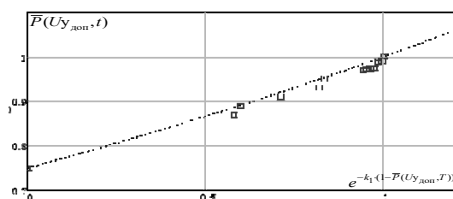


Рисунок 1 – Графічне відображення вектора спостережень ймовірності відхилення напруги та його експоненційної залежності

Ваговий коефіцієнт k_2 визначається з урахуванням "Порядку визначення плати за транспортування електричної енергії власного виробництва при постачанні електроенергії за нерегульованим тарифом" [14]. Згідно з [14] обсяг технологічних витрат при транспортуванні електроенергії за умови постачання електроенергії, наприклад, споживачам II класу (при ступені напруги на межі балансової належності між виробником електроенергії та електропередавальною організацією 0,4 – 10 кВ) для "ПАТ Вінницяобленерго" становить 15%.

Таким чином, значення вагового коефіцієнту k_2 регресійної залежності можна визначити для граничних умов $\bar{P}(\Delta W_{don}, T) = 0$ (перевищення нормативних технологічних витрат електроенергії на передачу електроенергії становить 85%), $\bar{P}(\Delta W_{don}, T) = 1$ з експоненційної функції

$$e^{-k_2(1-0)} = 0,85; k_2 = -\ln(0.85) = 0.163.$$

Коефіцієнт кореляції отриманої експоненційної залежності з статистичними даними рівний 0,955 говорить про високу адекватність побудованої математичної моделі статистичним даним (рис. 2).

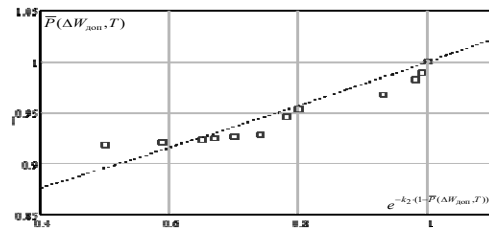


Рисунок 2 – Графічне відображення статистичних даних нормативного відхилення втрат електроенергії та запропонованої експоненційної залежності

Отже, для розв'язання поставлених вище задач визначення оптимальної встановленої потужності ВДЕ у ЛЕС та оптимізації їх добових режимів, пропонується використання вагових коефіцієнтів $k_1=0,288$ та $k_2=0,163$.

Параметри для розрахунку значень цільової функції (2) розраховувались за допомогою програмного комплексу аналізу втрат електроенергії та формування електроощадних заходів в розподільних електричних мережах з розосередженим генеруванням "ВТРАТИ-10/0,4 (РДЕ)".

Для аналізу ефективності використання встановленої потужності відновлюваних джерел енергії за комплексним критерієм використано графік навантаження характерного режиму фідеру Ф-31 (рис.4).

Усереднене за добу значення відхилення напруги для всіх вузлів ЕМ не перевищує 5%. Тому, відповідно до виразу (5) імовірність забезпечення нормативного відхилення напруги $\bar{P}(U, T) = 1$ в.о.

Для перевірки ефективності запропонованого методу розглянемо фрагмент схеми електричної мережі (рис.3).

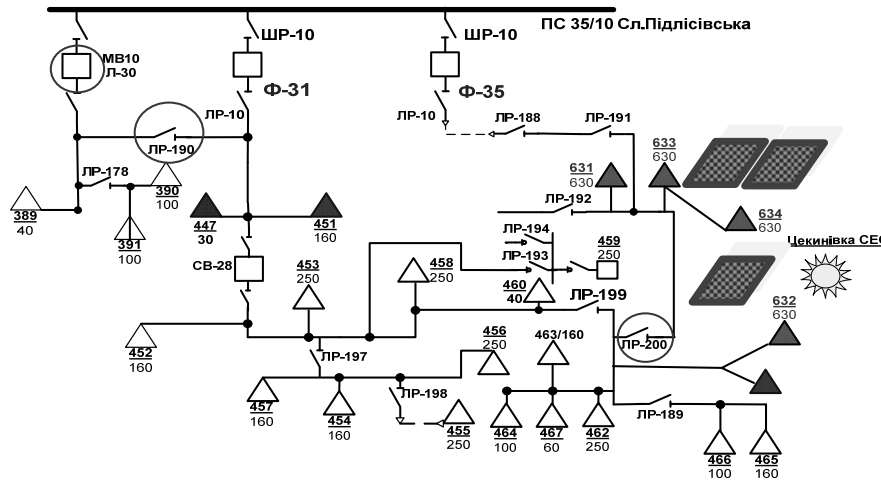


Рисунок 3 – ПС 35/10 "Слобода-Підлісівська" та електрична схема фідера №31 до якого приєднана перша черга Цекинівської СЕС потужністю 1,430 МВт

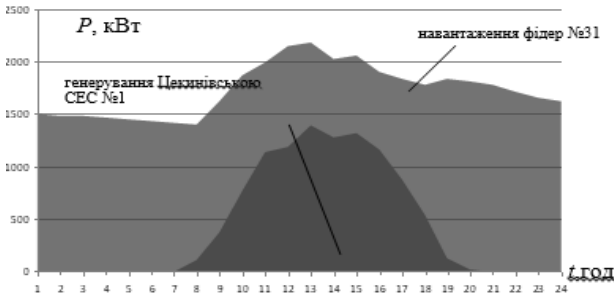


Рисунок 4 – Співвідношення графіків видачі потужності Цекинівською СЕС №1 та навантаження ПС 35/10 "Слобода Підлісівська" фідера №31

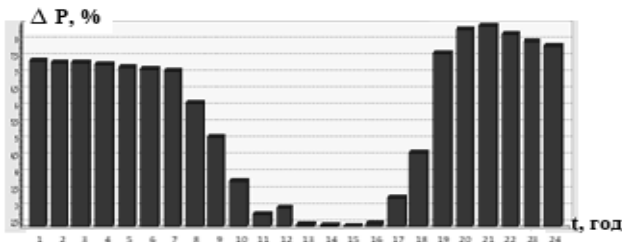


Рисунок 5 – Результати розрахунку забезпечення ймовірності нормативних втрат електроенергії

Аналіз графіку втрат потужності в електричній мережі (рис. 5) показав, що відносне значення втрат потужності у розрахунковій ЕМ перевищує попередньо прийняте значення у 5% впродовж 15 годин доби (для кожної ЕМ нормується окремо). Тому, відповідно до виразу 6) ймовірність забезпечення нормативного відхилення втрат потужності становить

$$\bar{P}(\Delta W_{дон}, T) = \frac{t_{сум}(\Delta W_{факт} \leq \Delta W_{дон})}{T} = \frac{9}{24} = 0,375 \text{ в.о.}$$

Для розрахунку значення цільової функції змінювалось значення встановленої потужності Цекинівської СЕС №1 у бік зростання, шляхом Результати розрахунку приведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Результати розрахунку оптимальної встановленої потужності першої черги Цекинівської СЕС за комплексним критерієм

Цекинівська СЕС №1, кВт	П, млн. грн/рік	P_1 , в.о.	P_2 , в.о.	$\Delta W_{факт}$, %	Ц, млн. грн/рік
1430	73,3	1	0,38	8,47	66,2
1680	86,1	1	0,42	8,21	78,4
2080	93,8	1	0,47	7,9	86,1
2710	105,6	0,6	0,35	9,2	84,7

Значення P_1 та P_2 відповідно значення ймовірності відхилення напруги та втрат потужності від нормативу.

Як видно з результатів дослідження, оптимальним є приєднання потужності 2080 кВт до фідера №31 Слобода-Підлісівської підстанції. Збільшення встановленої потужності призводить до ймовірного зниження якості напруги, що погіршує умови функціонування локальної електричної системи.

Висновки. Задачу визначення оптимальної потужності відновлюваних джерел енергії в електричній мережі доцільно розв'язувати за комплексним критерієм, який враховує прибуток від функціонування ВДЕ, показники якості електроенергії та втрати на її транспортування мережами ЛЕС. При визначенні показника якості електроенергії доцільно використовувати ймовірність забезпечення нормативного відхилення напруги та втрат електроенергії для заданого звітного періоду. Використання запропонованого методу дозволило мінімізувати можливі недоліки проектних рішень та покращити ефективність функціонування електричних мереж.

Список використаних джерел

1. Кириленко О. В. Технічні особливості функціонування енергосистем при інтеграції джерел розподіленої генерації / О. В. Кириленко, І. В. Трач // Праці Інституту електродинаміки НАН України. – 2009. – Вип. 24. – С. 3–7. – ISSN 1727-9895.
2. Лежнюк П. Д. Відновлювані джерела енергії в розподільних електричних мережах: монографія / П. Д. Лежнюк, О. А. Ковальчук, О. В. Нікіторович, В. В. Кулик. – Вінниця: ВНТУ, 2014. – 204 с.
3. Malogulko V. Optimization of the functioning of the renewable energy sources in the local electrical systems / V. Malogulko, P. Komada, A. Orshubekov, M. Kozhamberdiyeva, A. Sagymbekova // PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY, 2017. – № 3. – P. 97-103. – ISSN 0033-2097.
4. Lezhnyuk P. Optimal control of distributed sources of energy in the local electrical system / P. Lezhnyuk, V. Kulik, O. Kovalchuk // Proceedings of the Institute of Electrodynamics of NAS of Ukraine. Collected works. Special Issue. Part 1. – 2011. – P. 48–55. – ISSN 1727-9895.
5. Кулик В. В. Оптимальне керування розосередженими джерелами електроенергії з асинхронними генераторами засобами Smart Grid [Електронний ресурс] / В. В. Кулик, Т. С. Магас, Ю. В. Малогулко // Наукові праці ВНТУ. Енергетика та електротехніка. – 2011. – №4. – С. 1-6. Режим доступу: <http://praci.vntu.edu.ua/article/view/1404/999>. – ISSN 2307-5376.
6. El-Khattam W. Optimal Investment Planning for Distributed Generation in a Competitive Electricity Market / W. El-Khattam, K. Bhattacharya, Y. Hegazy and M. A. Salama // IEEE Transactions on Power Systems, vol. 19. – 2004. – no. 3. – PP. 1674-1684.
7. Rau N. S. Optimum location of resources in distributed planning / N. S. Rau, Y.-H. Wan // IEEE Transactions on Power Systems, vol. 9. – 1994. – pp. 2014-2020.
8. Falaghi H. ACO Based Algorithm for Distributed Generation Sources Allocation and Sizing in Distribution Systems / H. Falaghi, M. Haghifam // PowerTech, 2007. – PP. 555-560.
9. Keane A. Enhanced Utilization of Voltage Control Resources With Distributed Generation / A. Keane, E. Vittal, J. Dent, P. Harrison // IEEE Transactions on Power Systems, vol. 26. – 2011. – no. 1. – pp. 252-260.
10. Ardeshtna K. Supporting Islanded Microgrid Operations in the Presence of Intermittent Wind Generation / K. Ardeshtna, H. Chowdhury // IEEE. – 2010. – pp. 1-8.
11. Бурикін О. Б. Оптимізація режиму локальних електричних систем з відновлюваними джерелами енергії / О. Б. Бурикін, Ю. В. Малогулко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія "Електротехніка та електротехнології". – 2013. – №2. – Вип. 15 (338). – С. 42-46. – ISSN 2074-2630.
12. Методичні рекомендації визначення технологічних витрат електричної енергії в трансформаторах і лініях електропередавання [Електронний ресурс]: Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 21.06.2013 N 399. – Режим доступу:

http://www.leonorm.com/p/NL_DOC/UA/201301/Nak399.htm.

13. Затвердження Правил користування електричною енергією [Електронний ресурс]: Постанова НКРЕ від 31.07.1996. – N 28. – Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/z0417-96>.

14. Порядок визначення плати за транспортування електричної енергії власного виробництва при постачанні електроенергії за нерегульованим тарифом [Електронний ресурс]: Постанова НКРЕ від 28.09.2000. – N 1038. – Режим доступу: http://www.uazakon.com/documents/date_61/pg_gegwxx.htm.

Анотація

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО УСТАНОВЛЕННОЙ МОЩНОСТИ ГЕНЕРИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Бурыкин О. Б., Малогулко Ю. В.,
Томашевский Ю. В., Семенюк Ю. В.

В статье предложен метод определения оптимальной установленной мощности возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в электрических сетях (ЭС). Оптимальную мощность генерации ВИЭ целесообразно решать по комплексному критерию, который учитывает прибыль от функционирования ВИЭ, показатели качества электроэнергии и потери на ее транспортировку ЭС. При определении показателя качества электроэнергии определяется вероятность обеспечения нормативного отклонения напряжения и потерь электроэнергии для заданного отчетного периода. Это позволит минимизировать возможные недостатки проектных решений и повысить эффективность функционирования ЭМ.

Abstract

METHOD OF DETERMINATION OF OPTIMAL INSTALLED POWER OF GENERATION OF ELECTRIC POWER BY REFRACTORY ENERGY SOURCES IN ELECTRICAL NETWORKS

O. Burykin, Ju. Malogulko,
Ju. Tomashevskij, Ju. Semenjuk

The article proposes a method for determining the optimal installed capacity of renewable sources of energy (RSE) in electrical grids (EG). It is expedient to solve optimal power of generation of RSE in accordance with an integrated criterion, which takes into account the profit from the operation of RSE, indicators of the quality of electricity and the loss of its transportation of electricity. When determining the power quality indicator, the probability of providing a standard deviation of voltage and energy losses for a given reporting period is determined. This will minimize possible defects of design decisions and increase the efficiency of the functioning of EG.