

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

**П. Д. Лежнюк, В. О. Комар, О. В. Сікорська**

**РОЗОСЕРЕДЖЕНЕ ГЕНЕРУВАННЯ  
В ЗАДАЧАХ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ  
РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ**

Монографія

Вінниця  
ВНТУ  
2023

УДК 621.316.13

Л40

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 3 від 27.10.2022 р.).

Рецензенти:

**М. С. Сегеда**, доктор технічних наук, професор

**В. Г. Петрук**, доктор технічних наук, професор

**Лежнюк, П. Д.**

Л40 Розосереджене генерування в задачах підвищення енергоефективності розподільних електричних мереж : монографія / П. Д. Лежнюк, В. О. Комар, О. В. Сікорська – Вінниця : ВНТУ, 2023. – 195 с.

ISBN 978-966-641-922-7

В монографії досліджується проблема підвищення енергоефективності розподільних електричних мереж з відновлюваними джерелами енергії. Розглянуто можливість оцінювання функціональної та балансової готовності електричних мереж за показником якості функціонування.

Книга розрахована на фахівців, що цікавляться питаннями підвищення якості функціонування електричних мереж. Може використовуватись студентами, аспірантами та інженерно-технічним працівникам, які займаються підвищенням енергоефективності розподільних електричних мереж.

УДК 621.316.13

ISBN 978-966-641-922-7 © П. Лежнюк, В. Комар, О. Сікорська, 2023

## ЗМІСТ

|   |    |
|---|----|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ .....  | 6  |
| ВСТУП.....  | 8  |
| 1. ВПЛИВ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ .....  | 11 |
| 1.1. Проблеми забезпечення якісного електропостачання в сучасних умовах .....   | 11 |
| 1.2. Вплив фотоелектричних станцій на якість електричної енергії.....   | 21 |
| 1.3. Вплив відновлюваних джерел енергії на надійність розподільних електричних мереж .....  | 23 |
| 1.4. Вплив ВДЕ на енергоефективність мереж 35 – 110 кВ.....   | 27 |
| 1.5. Аналіз основних заходів підвищення енергоефективності розподільних електричних мережах .....   | 36 |
| 1.6. Проблема підвищення енергоефективності розподільних електричних мереж з відновлюваними джерелами енергії. Задачі подальших досліджень.....                 | 40 |
| 2. МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДОВИХ ІНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗНИКА ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ .....  | 44 |
| 2.1. Математичне моделювання структурної та балансової надійності в задачі оцінювання якості функціонування електричних мереж.....                              | 44 |
| 2.1.1. Загальні положення оцінювання структурної та балансової надійності в електричних мережах.....  | 45 |
| 2.1.2. Застосування моделі Вейбулл-Маркова для побудови інтегрального показника якості функціонування електричних мереж з відновлюваними джерелами енергії..... | 50 |
| 2.2. Математичне моделювання режимів електричних мереж з відновлюваними джерелами енергії для оцінювання складових якості функціонування .....                  | 54 |
| 2.2.1. Режим мінімальних втрат електричної енергії в мереж з ВДЕ.....   | 54 |
| 2.2.2. Врахування імовірнісних характеристик генерування ВДЕ і споживання в задачі оцінювання складових якості функціонування .....                             | 59 |
| 2.2.3. Врахування балансової надійності під час оцінювання якості функціонування.....   | 63 |
| 2.2.4. Математичне моделювання технологічних втрат для врахування в інтегральному показнику якості функціонування .....   | 64 |

|  |            |
|--|------------|
| 2.2.5. Оцінювання складової забезпечення якості електричної енергії в інтегральному показнику .....                                      | 66         |
| 2.2.5.1. Нормування показників якості електроенергії .....   | 66         |
| 2.2.5.2. Оцінювання відхилень напруги у вузлах споживання.....   | 70         |
| 2.2.5.3. Комп'ютерне моделювання процесу поширення вищих гармонік в електричних мережах .....  | 72         |
| <b>3. АНАЛІЗ І ОЦІНЮВАННЯ ВІДПОВІДНОСТІ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ МЕРЕЖ РІЗНИХ КЛАСІВ НАПРУГИ З ВДЕ ДО ЇХ НОРМАТИВНИХ ЗНАЧЕНЬ.....</b>           | <b>80</b>  |
| 3.1. Натурно-імітаційне моделювання для оцінювання взаємовпливу мереж різних класів напруги .....  | 80         |
| 3.2. Інтегральний показник якості функціонування як засіб оцінювання рівня енергоефективності.....                                       | 83         |
| 3.3. Вибір оптимальної стратегії розвитку електричних мереж з відновлюваними джерелами енергії .....                                     | 87         |
| 3.4. Залежність напруги від навантаження споживачів і генерування ФЕС. ....  | 89         |
| 3.4.1. Характеристика програмного забезпечення для формування залежностей напруги від навантаження і генерування ВДЕ .....               | 89         |
| 3.4.2. Техніко-економічне обґрунтування розбудова ВДЕ в електричній мережі з оцінкою відповідності параметрів нормативним значенням..... | 95         |
| 3.4.2.1. Режим максимальних навантажень .....  | 96         |
| 3.4.2.2. Режим мінімальних навантажень .....   | 103        |
| <b>4. ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ .....</b>                    | <b>108</b> |
| 4.1. Оцінювання впливу генерування ФЕС на якість функціонування ЛЕС .....  | 109        |
| 4.1.1. Визначення імовірнісних характеристик генерування ФЕС для схеми електричних мереж 10 кВ Ямпільського району .....                 | 109        |
| 4.1.2. Якість функціонування локальної електричної системи .....   | 112        |
| 4.1.3. Оцінювання впливу генерування ФЕС на режимні параметри ЛЕС .....  | 115        |
| 4.2. Узгодження графіків генерування ВДЕ та споживання в ЛЕС .....   | 118        |
| 4.2.1. Визначення оптимальної встановленої потужності ВДЕ .....  | 118        |
| 4.2.2. Керування споживанням для узгодження графіків генерування та електроспоживання .....  | 126        |

|   |     |
|---|-----|
| 4.3. Використання накопичувачів енергії в електричних мережах з відновлюваними джерелами енергії .....  | 134 |
| 4.3.1. Накопичувач електричної енергії як елемент підвищення балансової надійності локальних електричних систем .....   | 134 |
| 4.3.2. Аналіз можливих способів підвищення балансової надійності ЛЕС .....  | 144 |
| 4.4. Відновлювані джерела енергії з інверторними пристроями перетворення енергії як засіб регулювання реактивної потужності в електричній мережі .....              | 145 |
| <br>  |     |
| ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ .....  | 151 |
| <br>  |     |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....   | 155 |
| <br>  |     |
| Додаток А. Результати розрахунку втрат електричної енергії для електричних мереж 35 – 110 кВ АТ «Вінницяобленерго» .....  | 171 |
| <br>  |     |
| Додаток Б. Результати визначення основних імовірнісних характеристики процесів генерування Гальжбіївської ФЕС та навантаження лінії Ф-15 «ПС Ямпіль 110/10кВ» ..... | 173 |
| <br>  |     |
| Додаток В. Розрахунки режимів електричної мережі 110/35/10 кВ АТ «Вінницяобленерго» .....   | 179 |
| <br>  |     |
| Додаток Г. Фрагмент масиву коефіцієнтів системи рівнянь Колмогорова.....  | 194 |

*Наукове видання*

**Лежнюк Петро Дем'янович**  
**Комар Вячеслав Олександрович**  
**Сікорська Олена Вікторівна**

**РОЗОСЕРЕДЖЕНЕ ГЕНЕРУВАННЯ**  
**В ЗАДАЧАХ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ**  
**РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ**

Монографія

Оригінал-макет підготовлено в *редакційно-видавничому відділі ВНТУ*

Підписано до друку 13.01.2023 р.  
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman. Ум. др. арк. 11,7.  
Наклад 29 пр. Зам. № В2023-03

Вінницький національний технічний університет,  
Редакційно-видавничий відділ,  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,  
ВНТУ, ГНК, к. 114  
Тел. (0432) 65-18-06.  
**press.vntu.edu.ua**  
*email: irvc.vntu@gmail.com*

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано ФОП Барановська Т. П.,  
21021, м. Вінниця, вул. Порики, 7.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 4377 від 31.07.2012 р.