

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

Довгалюк Оксана Миколаївна

УДК 621.311

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ РЕГУЛЮВАННЯ
НАПРУГИ В БАГАТОРІВНЕВИХ РОЗПОДІЛЬНИХ
ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ НА ОСНОВІ ПРОГНОЗУВАННЯ
ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ**

Спеціальність 05.14.02 - електричні станції, мережі і системи

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків - 2004

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Харківській національній академії міського господарства Міністерства освіти і науки України, м. Харків.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент,
Черемісін Микола Михайлович,
Харківський державний технічний університет сільського господарства, професор кафедри електропостачання сільського господарства.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
Лежнюк Петро Дем'янович,
Вінницький державний технічний університет, завідувач кафедри електричних станцій та систем;

кандидат технічних наук, доцент,
Вепрік Юрій Миколайович,
Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, професор кафедри передачі електричної енергії.

Провідна установа – Інститут електродинаміки НАН України, відділ оптимізації систем електроспоживання, м. Київ.

Захист відбудеться «27» травня 2004 р. о 14.30 год. на засіданні спеціалізованої вченої ради К 64.050.06 у Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”.

Автореферат розісланий «24» квітня 2004 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Мінченко А.А.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасні електричні мережі характеризуються збільшенням кількості споживачів, які негативно впливають на якість електричної енергії, при одночасному збільшенні споживачів, які ставлять підвищені вимоги до електроенергії. Це вказує на наявність тенденції загострення проблеми забезпечення якості енергії в електричних мережах. Разом з тим великого значення набуває питання застосування енергозберігаючих технологій передачі й розподілу електричної енергії.

Проблеми якості електричної енергії і регулювання напруги тісно пов'язані між собою і в умовах ринкових відносин є особливо актуальними. Практичне вирішення цих задач вимагає аналізу режимів роботи електричних мереж і використовуваних методів та засобів регулювання напруги.

У даний час основним методом регулювання напруги є централізоване, здійснюване за допомогою пристроїв регулювання під навантаженням (РПН) або переключення без збудження (ПБЗ) трансформаторів центру живлення (ЦЖ). Розподільні електричні мережі (РЕМ) характеризуються низькою кількістю вимірювальних приладів і засобів телеконтролю. Регулювання напруги в такій мережі утруднене через складність одержання необхідної інформації.

При регулюванні напруги враховуються вимоги до якості електричної енергії тільки у споживачів того ієрархічного рівня, на якому розташовуються засоби регулювання. У результаті споживачі з графіком навантажень, відмінним від графіка навантажень центру живлення, протягом тривалого часу працюють при напрузі, що не відповідає оптимальній.

Низька ефективність застосовуваних методів у сполученні з використовуваними на сьогоднішній день технічними засобами регулювання напруги вказує на необхідність коригування існуючої концепції регулювання напруги в напрямку розробки методів, здатних адаптуватися до структури, що змінюється, і режимів роботи електричних мереж, а також враховувати багатofакторність задачі регулювання напруги в них.

Застосування комплексного підходу до багаторівневої РЕМ як до складної ієрархічної системи кібернетичного типу з урахуванням вимог до якості електричної енергії з боку всіх споживачів дозволить удосконалити метод зустрічного регулювання напруги. Це забезпечить підвищення ефективності процесу експлуатації багаторівневих РЕМ за рахунок оптимізації процесу регулювання напруги в мережі в рамках задач автоматизованих систем диспетчерського управління (АСДУ) з урахуванням вимог до якості електричної енергії одночасно у всіх споживачів.

Таким чином, тема дисертаційної роботи є актуальною, тому що спрямована на забезпечення потреб енергетики України при вирішенні проблем енергозбереження завдяки підвищенню ефективності функціонування електричних мереж, а також забезпечення якості електричної енергії у споживачів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження, виконані в дисертаційній роботі, проводилися в рамках науково-дослідних робіт: “Розробка і впровадження цифрового вимірювача параметрів режимів роботи електричних мереж” відповідно до договору з Міністерством палива й енергетики України № 917/11 від 26.02.1999 р. в рамках державної програми 5.51.5 “Управління режимами систем електропостачання як ефективний засіб вирішення проблеми енергозбереження і ресурсозбереження” (номер державної реєстрації 0199U001147); “Розробка цифрової системи вимірювання якості електричної енергії у системах електропостачання” відповідно до угоди № 1 від 05.06.2003 р. до договору з Міністерством освіти і науки України № ДЗ/18 - 2002 від 19.08.2002 р (номер державної реєстрації 0199U001147). При виконанні зазначених робіт, які проводились у Північно-Східному науковому центрі Національної академії наук і Міністерства освіти і науки України, безпосередньо здобувачем розроблено: імовірнісну математичну модель режиму напруги в багаторівневій ієрархічній системі електропостачання, що враховує стохастичний характер зміни параметрів режиму електричної мережі і дозволяє аналізувати їх стан у нормальному режимі роботи системи електропостачання; математичні моделі навантаження і режиму напруги системи електропостачання, що враховують стохастичний характер зміни навантаження і дозволяють прогнозувати показники якості електричної енергії в будь-якій точці системи електропостачання.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є розробка рекомендацій з оптимізації процесу регулювання напруги в розподільних електричних мережах на основі прогнозування режимів електроспоживання з використанням засобів статистики й імовірнісного математичного моделювання, що дозволять підвищити ефективність експлуатації мережі.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішені наступні основні задачі:

- виконано аналіз структури РЕМ міст та стану їхнього розвитку на сучасному етапі;
- зроблено аналіз використовуваних методів і технічних засобів регулювання напруги, визначено шляхи оптимізації режимів напруги, що дозволяють підвищити ефективність функціонування РЕМ;
- розроблено імовірнісну математичну модель навантаження споживачів РЕМ, що враховує особливості ієрархічної структури мережі;

- розроблено імовірнісну математичну модель напруги, враховуючу особливості структури РЕМ і стохастичний характер зміни навантаження в мережі;
- проведено експериментальні дослідження для перевірки достовірності теоретично отриманих характеристик напруги для всіх рівнів РЕМ;
- виконано аналіз режимів напруги з урахуванням виявлених особливостей структури РЕМ і процесів у них;
- розроблено критерій стаціонарності для перевірки функції напруги на наявність інтервалів відносної стаціонарності;
- розроблено рекомендації з удосконалення методів регулювання напруги за рахунок оптимізації рівнів напруги з урахуванням вимог до показників якості електричної енергії у всіх споживачів багаторівневої ієрархічно організованої РЕМ;
- розроблено алгоритм оптимізації режимів напруги в багаторівневій РЕМ, що враховує вимоги до показників якості електричної енергії у всіх споживачів мережі і дійсні діапазони засобів регулювання напруги.

Об'єктом дослідження є процеси оптимізації регулювання напруги в багаторівневих розподільних електричних мережах при використанні автоматизованих систем диспетчерського керування.

Предметом дослідження є режими напруги в розподільних електричних мережах, а також методи їх регулювання.

Методи дослідження. Вирішення поставлених у дисертаційній роботі задач досягнуто на основі застосування методів системного аналізу (при аналізі сучасного стану РЕМ), математичного моделювання (при моделюванні режимів напруги в РЕМ), теорії імовірності і методів математичної статистики (при обробці результатів експериментальних досліджень і аналізі режимів напруги).

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- подальший розвиток одержала імовірностно-статистична математична модель навантаження споживачів розподільної електричної мережі, що на відміну від існуючих враховує багаторівневу ієрархічну структуру мережі;
- подальший розвиток одержала імовірностно-статистична математична модель режимів напруги в розподільній електричній мережі, що на відміну від існуючих враховує стохастичність характеру зміни процесів у них і побудована для мережі з багаторівневою ієрархічно організованою

структурою;

- уперше сформульований критерій виділення ділянок стаціонарності, використовуваний при аналізі й моделюванні нестационарних випадкових функцій, що враховує кількісні і якісні характеристики процесу їх зміни;

- одержав подальший розвиток метод зустрічного регулювання напруги в багаторівневій розподільній електричній мережі. Від існуючих він відрізняється урахуванням вимог до показників якості електричної енергії одночасно у всіх споживачів багаторівневої ієрархічно організованої розподільної електричної мережі при стохастичному характері зміни навантаження і дійсних діапазонів засобів регулювання напруги.

Практичне значення одержаних результатів:

- імовірнісні моделі навантажень споживачів і режимів напруги в РЕМ використані Північно-Східним науковим центром Національної академії наук і Міністерства освіти і науки України при розробці й впровадженні цифрового вимірювача параметрів режимів роботи електричних мереж, а також при розробці цифрової системи виміру якості електричної енергії у системах електропостачання;

- розроблені методика та алгоритм оптимізації режимів напруги використані в навчальному посібнику з грифом Міністерства освіти і науки України “Комп’ютерні інформаційні технології в електроенергетиці”, рекомендованому для студентів електроенергетичних спеціальностей вузів;

- отримані в роботі моделі навантажень споживачів і режимів напруги в РЕМ використовуються в навчальному процесі на кафедрі “Електропостачання міст” Харківської національної академії міського господарства.

Особистий внесок здобувача. Всі наукові положення і результати, приведені в дисертаційній роботі, отримані автором особисто. У спільних наукових працях за темою дисертації здобувачеві належить:

- аналіз режимів напруги РЕМ міст, оцінка стану існуючих методів і засобів регулювання напруги, виявлення тенденцій їх подальшого розвитку;

- побудова імовірнісної математичної моделі напруги в системі електропостачання та виявлення інтервалів стаціонарності функції напруги;

- одержання й обробка експериментальних реалізацій функції напруги для РЕМ м. Харкова, розробка алгоритму і програми розрахунку імовірнісної моделі напруги;

- розробка алгоритму прогнозування рівнів напруги й розрахунок частотних характерис-

тик прогнозуючого фільтра;

- розробка алгоритму оптимізації режиму напруги розподільних електричних мереж.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідалися й обговорювалися на 7 науково-технічних конференціях, серед яких 4 міжнародні, 1 міжрегіональна: міжнародна наукова конференція “Підвищення ефективності і якості електропостачання” (м. Маріуполь, Приазовський державний технічний університет, 2000 р.), міжнародні науково-практичні конференції “Проблеми енергозабезпечення й енергозбереження в АПК України” (м. Харків, Український державний технічний університет сільського господарства, 2001, 2002, 2003 рр.), міжрегіональна науково-практична конференція “Стратегія розвитку України до 2010 року” (м. Харків, Українська академія державного керування при Президенті України, 1999 р.), щорічні XXX і XXXI науково-технічні конференції викладачів, аспірантів і співробітників Харківської державної академії міського господарства (м. Харків, Харківська державна академія міського господарства, 2000 р. і 2002 р.).

Публікації. За матеріалами роботи опубліковано 9 наукових праць, з них 4 статті у наукових фахових виданнях, 4 тези доповідей науково-технічних конференцій і 1 навчальний посібник з грифом Міністерства освіти і науки України для студентів електроенергетичних спеціальностей вузів.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків і семи додатків. Повний обсяг роботи становить 242 сторінки, з них 9 ілюстрацій за текстом, 22 ілюстрації на 20 сторінках; 17 таблиць за текстом, 19 таблиць на 30 сторінках; 7 додатків на 59 сторінках; 112 найменувань використаних літературних джерел на 11 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовані мета і задачі роботи, визначено об'єкт та предмет досліджень, встановлені методи досліджень, показана наукова новизна і практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі дисертаційної роботи розглянуто особливості функціонування і перспективи розвитку РЕМ. Обґрунтовано необхідність застосування системного підходу для аналізу процесів у них.

РЕМ є складними технічними системами, що включають велику кількість елементів. Щодо керування напругою в РЕМ виділено п'ять ієрархічних рівнів. Призначення РЕМ полягає в ефективному забезпеченні електроенергією споживачів, розташованих на її території. При цьому повинні дотримуватися вимоги до якості електроенергії, нормовані ДСТ 13109-97.

Для надійного і якісного електропостачання необхідне коригування напруги в мережах з урахуванням дійсних процесів у них. Виконаний аналіз стану методів і технічних засобів, застосовуваних на сьогоднішній день для регулювання напруги, вказує на необхідність розробки нової концепції регулювання напруги.

Вирішенням цього питання займалися багато вітчизняних і закордонних учених. Однак на сьогодні не існує єдиної концепції регулювання напруги, що враховує складну структуру РЕМ і системний підхід до розв'язання задачі із застосуванням сучасних автоматизованих систем.

Обґрунтовано, що для досягнення цієї мети необхідне дослідження стану параметрів режимів у РЕМ, а також оптимізація методів і законів регулювання напруги відповідно до вимог ДСТ 13109-97 і виявлених особливостей функціонування РЕМ.

Таблиця 1

Характеристика методів і технічних засобів регулювання напруги в РЕМ

Рівень РЕМ	5	4	3	2	1
Місце установки технічного засобу регулювання напруги	Шини НН ПС	Шини РП	Шини НН ТП	Шини ВРУ	ГРЩ або за- тиски елект- роприймача
Метод регулювання напруги	Централізо- ване	Групове	Місцеве, групове	Місцеве, групове, індивідуальне	Індивідуальне (переважно пофазне)
Технічні засоби, застосовувані для регулювання напруги	РПН силових трансформаторів, ВДТ	Батареї конденсаторів, ВДТ	ПБЗ силових трансформаторів, БК	Індукційні регулятори (загальмований АД), стабілізатори, лінійні регулятори	Стабілізатори, ВДТ, батареї конденсаторів

У другому розділі проведено роботу з моделювання режимів напруги в електричних мережах.

На зміну величини параметрів режиму мережі основний вплив справляє зміна навантаження, що має стохастичний характер. Для достовірного опису процесів зміни навантаження і напруги в мережі обґрунтовано застосування імовірнісного методу моделювання, з використанням

якого отримані імовірнісні математичні моделі навантаження і режиму напруги для п'яти досліджуваних рівнів РЕМ у вигляді

$$S_i(t) = M[S_i(t)] + \sigma[S_i(t)]; \quad (1)$$

$$U_i(t) = M[U_i(t)] + \sigma[U_i(t)], \quad (2)$$

де $M[S_i(t)]$, $M[U_i(t)]$ – математичне сподівання навантаження і напруги; $\sigma[S_i(t)]$, $\sigma[U_i(t)]$ – центровані функції з нульовим математичним чеканням.

Для перевірки адекватності побудованих моделей у РЕМ були проведені експериментальні дослідження, в результаті яких у характерних точках мережі для всіх досліджуваних рівнів РЕМ, були отримані реалізації випадкової функції напруги. Методом ковзного середнього корисний сигнал було відділено від перешкоди.

Далі були отримані числові характеристики напруги для всіх досліджуваних рівнів РЕМ в режимах зимового максимуму і літнього мінімуму навантаження.

Зіставлення отриманих числових характеристик процесу зміни функції напруги з теоретичними значеннями даних величин показує, що величина похибки складає $0,1 \div 8,18 \%$, тобто для одержання достовірних моделей режимів напруги отримані теоретичним шляхом значення числових характеристик, вимагають коригування за допомогою статистичних даних.

Для оптимального керування режимами напруги в РЕМ необхідно виконати повний аналіз реальних режимів напруги РЕМ, тому що тільки знаючи закономірності в поведженні функції напруги, можна щонайкраще коригувати закон його регулювання.

У третьому розділі виконано аналіз режимів напруги в електричних мережах на основі отриманих моделей, що містить у собі: оцінку відповідності величин параметрів режиму нормованим значенням, оцінку закону розподілу та характеру зміни досліджуваної величини.

Порівняння фактичних значень напруги для всіх досліджуваних рівнів РЕМ з їхніми припустимими значеннями вказує на невідповідність напруги в досліджуваних точках РЕМ вимогам ДСТ 13109 - 97. Це підтверджує низьку ефективність застосовуваних заходів щодо регулювання напруги і вказує на необхідність коригування закону регулювання напруги.

Оцінка закону розподілу досліджуваної функції напруги показала, що для досліджуваної функції напруги не існує єдиної щільності імовірностей на добовому інтервалі і для достовірного опису процесу може бути використана тільки послідовність миттєвих щільностей імовірностей, побудованих для кожного моменту часу й апроксимованих нормальним законом розподілу.

Для оцінки характеру зміни напруги в РЕМ було побудовано кореляційні матриці і зроблено їх нормування. Аналіз даних матриць показав, що для всіх рівнів РЕМ випадкова функція напруги є нестационарною на добовому інтервалі. У той же час протягом добових інтервалів існують інтервали відносної стаціонарності, що збігаються за часом із циклами навантаження.

Для більш докладної оцінки стаціонарності функції напруги в періоди виділених інтервалів відносної стаціонарності проведена кількісна оцінка міри мінливості числових характеристик процесу аж до кореляційних функцій. Результати проведених досліджень цілком підтверджують наявність інтервалів стаціонарності.

Уміння швидко і коректно виділяти інтервали відносної стаціонарності дозволить найбільш точно коригувати закон зміни напруги в мережі відповідно до вимог споживачів.

З огляду на цей факт був запропонований узагальнений критерій стаціонарності для аналізу випадкової функції напруги у вигляді

$$\xi_c = \frac{\sum_{i=1}^n \xi_i}{n}, \quad (3)$$

де ξ_i – приватні критерії стаціонарності, величини яких визначаються згідно з виразами

$$\xi_1 = \frac{R_i(t, t + \tau)}{R_j(t, t + \tau)}, \quad \xi_2 = \frac{1}{\sigma_0[M_{U(t)}]}, \quad \xi_3 = \frac{1}{\sigma_0[D_{U(t)}]}, \quad \xi_4 = -1 \cdot \frac{\frac{dR(\tau)}{dt}}{\left| \frac{dR(\tau)}{dt} \right|}, \quad \xi_5 = \frac{R(0)}{|R(\tau)_{\max}|}. \quad (4)$$

Тут $R_i(t, t + \tau)$, $R_j(t, t + \tau)$ – кореляційні функції, визначені для i -го і j -го моментів часу ділянки можливої стаціонарності тривалістю T_c ; $\sigma_0[M_{U(t)}]$, $\sigma_0[D_{U(t)}]$ – середньоквадратичне відхилення незміщеної середньої оцінки математичного сподівання і дисперсії напруги.

Запропоновано алгоритм побудови імовірнісної математичної моделі режиму напруги і її аналізу за допомогою запропонованого критерію. Його реалізація на ЕОМ дозволяє істотно прискорити процес моделювання й аналізу функції напруги.

Використання отриманої інформації дає змогу оптимально регулювати напругу РЕМ. Вирішенню цього питання присвячений **четвертий розділ** роботи.

Наявність отриманої математичної моделі і виявлених інтервалів відносної стаціонарності дозволяє прогнозувати значення параметрів режиму електричної мережі відповідно до схеми.

На інтервалах стаціонарності кореляційна функція має вигляд

$$R(\tau) = Ae^{-\alpha\tau} \cos\beta\tau, \quad (5)$$

а частотна характеристика прогнозуючого фільтру

$$W(j\omega) = e^{-\alpha\tau} \cdot \left[\cos\beta\tau + k \frac{T_1 \cdot j\omega + 1}{T_2 \cdot j\omega + 1} \sin\beta\tau \right], \quad (6)$$

де

$$k = \frac{\alpha\sqrt{\alpha^2 + \beta^2} - \alpha^2 - \beta^2}{\beta\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}, \quad T_1 = \frac{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2} - \alpha}{\alpha\sqrt{\alpha^2 + \beta^2} - \alpha^2 - \beta^2}, \quad T_2 = \frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}. \quad (7)$$

Отримана прогнозна модель дозволяє щонайкраще оптимізувати режим напруги. Питання регулювання напруги і якості електричної енергії зв'язані між собою, тому доцільно вирішувати їх у комплексі. З огляду на це як цільову функцію в роботі запропоновано використовувати мінімум втрат у мережі

$$C_{\Sigma} \rightarrow \min_U, \quad (8)$$

з урахуванням обмежень, обумовлених вимогами ДСТ до якості електричної енергії й існуючим діапазоном регулювання трансформаторів:

$$V = \pm 5\%; \quad (9)$$

$$U_{д \min} \leq U_{баж} \leq U_{д \max}. \quad (10)$$

Сумарні витрати містять у собі дві складові: вартість сумарних втрат електричної енергії в мережі $C_{\Delta W_{\Sigma}}$ і витрати енергопостачальної організації, пов'язані з компенсацією споживачам за неякісну електричну енергію $C_{Ня}$:

$$C_{\Sigma} = C_{\Delta W_{\Sigma}} + C_{Ня}. \quad (11)$$

Розв'язання цієї задачі вимагає знань про топологію мережі, що зручно подати у вигляді матриць

$$G_{л} = \{L, F, z, m\}; \quad (12)$$

$$G_{т} = \{S, n, \Delta P_{кз}, \Delta P_{xx}\}; \quad (13)$$

$$G_{зр} = \{k, Q, v\}, \quad (14)$$

де $G_{л}$, $G_{т}$, $G_{зр}$ - матриці параметрів ліній електропередачі, силових трансформаторів і засобів регу-

лювання напруги; L - довжина ліній електропередачі; F - перетин ліній електропередачі; z - опір ліній електропередачі; m - кількість ліній електропередачі; S - номінальні потужності силових трансформаторів; n - кількість силових трансформаторів; $\Delta P_{кз}$, $\Delta P_{хх}$ - втрати активної потужності короткого замикання і холостого ходу силових трансформаторів; k - кількість технічних засобів регулювання напруги; Q - реактивна потужність засобів регулювання напруги; v - діапазон регулювання засобів регулювання напруги.

Для реалізації процесу оптимізації в роботі використаний метод градієнта. Розроблено алгоритм оптимізації режимів напруги в електричних мережах, що враховує перераховані вимоги.

На сьогодні найбільший ефект від реалізації даного алгоритму процесу оптимізації може бути отриманий при вирішенні його в рамках задач АСДУ відповідно до схеми.

Застосування запропонованої методики комплексної оптимізації режиму напруги для всієї електричної мережі в результаті оптимального вибору коефіцієнтів трансформації трансформаторів при обліку обраних технічних обмежень на параметри режиму приведе до зменшення втрат активної потужності, а, отже, забезпечить економію електричної енергії при одночасному поліпшенні її якості в споживачів. Згідно з розрахунками економія становить 4% від вартості споживаної електроенергії.

ВИСНОВКИ

Отримані в дисертаційній роботі наукові результати дозволяють вирішити задачу оптимізації режиму напруги в РЕМ з урахуванням особливостей її структури і стохастичного характеру процесів у ній при одночасному дотриманні вимог до якості електричної енергії у всіх споживачів. Застосування для цього сучасних АСДУ дозволяє вирішувати цю задачу на якісно новому рівні. Ці розробки є внеском у розвиток теорії і методів регулювання параметрів режиму, вони дозволили зробити наступні висновки:

1. Виконано аналіз структури розподільних електричних мереж, на підставі якого з погляду керування режимами напруги в структурі РЕМ виділено п'ять ієрархічних рівнів. Обґрунтовано необхідність застосування системного методу для дослідження процесів у РЕМ.

2. Виявлено особливості сучасного функціонування і перспективи розвитку РЕМ, що вказують на наявність тенденції загострення проблеми забезпечення якості енергії в електричних мережах.

3. Виконаний аналіз стану методів і технічних засобів, застосовуваних сьогодні для регу-

лювання напруги в РЕМ, вказує на необхідність розробки нової концепції регулювання напруги, що враховує складну структуру РЕМ і системний підхід до вирішення задачі регулювання напруги із застосуванням сучасних автоматизованих систем. Визначено шляхи оптимізації режимів напруги в багаторівневих РЕМ, що дозволяють підвищити ефективність функціонування таких мереж.

4. Обґрунтовано, що для достовірного опису процесів зміни навантаження в мережі необхідно застосовувати імовірнісний метод моделювання. Для п'яти ієрархічних рівнів РЕМ побудовано імовірнісну математичну модель навантаження споживачів на основі типових графіків, що враховує особливості ієрархічної структури мережі.

5. Для ефективного регулювання напруги в мережі побудовано імовірнісну математичну модель напруги, що враховує особливості ієрархічної структури РЕМ і стохастичний характер зміни навантаження в мережі.

6. Проведено експериментальні дослідження, результати яких показують, що похибка визначення числових характеристик при моделюванні напруги в РЕМ складає $0,1 \div 8\%$, що вказує на необхідність коригування отриманих теоретичним шляхом значень числових характеристик за допомогою статистичних даних для побудови достовірних математичних моделей режимів навантаження і напруги в РЕМ.

7. Порівняння фактичних значень напруги для всіх досліджуваних рівнів РЕМ з їхніми припустимими значеннями показує, що в той час як на шинах НН ПС 110/10 кВ напруга знаходиться в межах припустимих значень, у досліджуваних точках РЕМ на нижчих рівнях його величина виходить за межі вимог ДСТ 13109 - 97. Це вказує на низьку ефективність застосовуваних заходів щодо регулювання напруги і необхідність коригування закону регулювання напруги.

8. Проведений аналіз режимів напруги в РЕМ свідчить, що для випадкової функції напруги не існує єдиної щільності імовірностей на добовому інтервалі і для достовірного опису процесу може бути використана послідовність миттєвих щільностей імовірностей, побудованих для кожного моменту часу й апроксимованих нормальним законом розподілу.

9. Оцінка характеру зміни напруги в РЕМ показала, що для всіх рівнів РЕМ випадкова функція напруги є нестационарною на добовому інтервалі. Разом з тим протягом добових інтервалів існують інтервали відносної стаціонарності, що збігаються за часом із циклами навантаження.

10. Для швидкого і коректного виділення інтервалів відносної стаціонарності розроблений

узагальнений критерій стаціонарності $\xi_c = \frac{\sum_{i=1}^n \xi_i}{n}$, який дозволяє судити про характер випадкового процесу на підставі якісної і кількісної оцінки його числових характеристик з точністю до кореляційної функції. Для ділянок відносної стаціонарності досліджуваної мережі значення цього критерію знаходиться в межах $0,8 \div 0,94$.

11. Розроблено модель, що прогнозує значення функції напруги в РЕМ на нестационарних інтервалах і інтервалах відносної стаціонарності, використання якої істотно спрощує процес регулювання напруги в РЕМ. Доведено достовірність результатів прогнозування напруги в РЕМ, одержаних за допомогою запропонованої прогнозної моделі.

12. Запропоновано шляхи удосконалення методу зустрічного регулювання напруги за рахунок обліку вимог до якості електричної енергії у всіх споживачів у мережі. Це здійснено в результаті вирішення проблеми регулювання напруги в рамках задач АСДУ. Такий підхід дозволяє знизити сумарні витрати при експлуатації РЕМ за рахунок зменшення втрат електроенергії у мережі, а також втрат, пов'язаних з неякісною електроенергією.

13. Розроблено алгоритм оптимізації рівнів напруги в багаторівневій РЕМ, що враховує вимоги до показників якості електричної енергії одночасно у всіх споживачів мережі і дійсні діапазони засобів регулювання напруги. Економічний ефект реалізації цього алгоритму склав 4% від вартості споживаної електроенергії.

14. Основні наукові результати дисертації використані Північно-Східним науковим центром Національної академії наук і Міністерства освіти і науки України, а також використовуються в навчальному процесі на кафедрі “Електропостачання міст” Харківської національної академії міського господарства.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ:

1. Довгалюк О.Н. Обобщенный критерий стационарности, применяемый при моделировании режимов напряжения городских распределительных сетей // Вестник Национального технического университета “ХПИ”. - Харьков: НТУ “ХПИ”. - 2001. - № 14. - С. 293 - 300.

2. Черемисин Н.М., Довгалюк О.Н. Моделирование режимов напряжения в системах электроснабжения сельскохозяйственных потребителей // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. - Харків: ХДТУСГ. - 2001. - № 6. - С. 286 - 292.

Здобувачем побудована імовірнісна математична модель напруги в системі електропостачан-

ня та виявлені інтервали стаціонарності функції напруги.

3. Черемисин Н.М., Довгалюк О.Н. Оптимизация режима напряжения распределительных электрических сетей сельского назначения // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. - Харків: ХДТУСГ. - 2003. - Т.1., № 19. - С. 82 - 90.

Здобувачем розроблено алгоритм оптимізації режиму напруги багаторівневих розподільних електричних мереж.

4. Довгалюк О.Н. Учет влияния вероятностного характера нагрузок электрических сетей на величину показателей качества электроэнергии // Вестник Национального технического университета "ХПИ". - Харьков: НТУ "ХПИ". - 2003. - № 11. - С. 41 - 52.

5. Говоров П.П., Довгалюк О.М. Перспективи розвитку систем електропостачання міст // Праці міжрегіональної науково-практ. конф. "Стратегія розвитку України до 2010 року". - Харків: УАДУ (ХФ). - 2000. - С. 40-42.

Здобувачем зроблено аналіз режимів напруги систем електропостачання міст, оцінку стану існуючих методів і засобів регулювання напруги, виявлено тенденції їх подальшого розвитку.

6. Говоров Ф.П., Довгалюк О.Н. Ретроспективный анализ режимов напряжения в системах электроснабжения городов и промышленных предприятий // Труды IV междунар. конфер. "Эффективность и качество электроснабжения промышленных предприятий". - Мариуполь: ПГТУ. - 2000. - С. 141 - 144.

Здобувачем одержано й оброблено експериментальні реалізації функції напруги для системи електропостачання м. Харкова, побудовано імовірнісну математичну модель напруги та виявлені інтервали стаціонарності функції напруги для п'яти рівнів системи електропостачання м. Харкова, а також розроблено алгоритм і програму розрахунку імовірнісної моделі напруги.

7. Говоров Ф.П., Довгалюк О.Н. Управление режимами напряжения в распределительных электрических сетях больших городов // Труды XXX научно-техн. конф. преподавателей, аспирантов и сотрудников Харьковской государственной академии городского хозяйства. - Часть 2. - Харьков: ХГАГХ. - 2000. - С. 36-37.

Здобувачем виконано оцінку стану методів і засобів регулювання напруги в розподільних електричних мережах великих міст.

8. Черемисин Н.М., Довгалюк О.Н. Прогнозирование параметров режимов электрических сетей на основе их вероятностных моделей // Труды XXXI научно-техн. конф. преподавателей, аспирантов и сотрудников Харьковской государственной академии городского хозяйства. - Часть 2. -

Харьков: ХГАГХ. - 2002. - С. 42-44.

Здобувачем розроблено алгоритм прогнозування рівнів напруги й розраховано частотні характеристики прогнозуючого фільтра.

9. Компьютерные информационные технологии в электроэнергетике / Абраменко И.Г., Гриб О.Г., Довгалюк О.Н., Калюжный Д.Н., Карпенко К.М., Кольченко А.В., Левин В.И., Пан Н.П., Рябченко И.Н., Сендерович Г.А. - Харьков: ХГАГХ, 2003. - 170 с.

Здобувачем реалізовано алгоритм оптимізації режиму напруги електричної мережі з використанням спеціалізованого комп'ютерного пакету "Statistica".

АНОТАЦІЇ

Довгалюк О. М. Удосконалення методів регулювання напруги в багаторівневих розподільних електричних мережах на основі прогнозування параметрів режиму електроспоживання. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.14.02 – електричні станції, мережі і системи. – Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, 2004.

Дисертаційна робота присвячена питанням удосконалення методу зустрічного регулювання напруги в багаторівневих розподільних електричних мережах на основі прогнозування параметрів режиму електроспоживання.

У роботі побудовані імовірнісні математичні моделі навантаження і напруги в мережі, що враховують особливості структури багаторівневої мережі і стохастичний характер процесів у ній. Аналіз даних моделей дозволив виявити особливості в поведженні функції напруги, з урахуванням яких було побудовано прогнозні моделі функції напруги у багаторівневій РЕМ.

У роботі запропоновано, використовуючи прогнозні моделі напруги, у рамках задач автоматизованої системи диспетчерського управління вирішувати проблему оптимізації процесу регулювання напруги в багаторівневих розподільних електричних мережах з урахуванням вимог до якості електричної енергії одночасно у всіх споживачів мережі. Такий підхід дозволяє знизити втрати електричної енергії у мережі і зменшити витрати, пов'язані з відшкодуванням утрат споживачам від неякісної електроенергії. Розроблено алгоритм оптимізації регулювання напруги в багаторівневих розподільних електричних мережах, практична реалізація якого дозволяє знизити сумарні витрати в се-

редньому на 4%.

Ключові слова: розподільна електрична мережа, регулювання напруги, оптимізація режиму напруги, якість електричної енергії.

Довгалюк О. Н. Совершенствование методов регулирования напряжения в многоуровневых распределительных электрических сетях на основе прогнозирования параметров режима электропотребления. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – электрические станции, сети и системы. – Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, Харьков, 2004.

Диссертационная работа посвящена вопросам совершенствования метода встречного регулирования напряжения в многоуровневых распределительных электрических сетях на основе прогнозирования параметров режима электропотребления. На основе проведенного системного анализа современного состояния и перспектив развития многоуровневых распределительных электрических сетей, а также технических средств и методов регулирования напряжения в них в диссертационной работе предложены пути совершенствования метода встречного регулирования напряжения, наиболее широко применяемого в распределительных электрических сетях, применение которых позволит повысить эффективность функционирования электрических сетей за счет снижения стоимости потерь, связанных с их эксплуатацией.

В работе построены вероятностные математические модели нагрузки и напряжения в сети, учитывающие особенности структуры многоуровневой сети и стохастический характер процессов в ней. В результате анализа данных моделей выявлены особенности в поведении функции напряжения. Использование полученной информации позволило построить прогнозные модели функции напряжения и с их помощью сформулировать требования к закону регулирования напряжения в соответствии с выявленными особенностями, отражающими требования потребителей, и с учетом требований ГОСТ 13109-97 к качеству электрической энергии.

В работе предложено, используя прогнозные модели напряжения, в рамках задач автоматизированной системы диспетчерского управления решать проблему оптимизации процесса регулирования напряжения в многоуровневых распределительных электрических сетях с учетом требований к качеству электрической энергии одновременно у всех потребителей сети. Такой подход позволяет снизить потери электрической энергии в сети и уменьшить затраты, связанные с возмещением потерь

потребителям от некачественной электроэнергии. Разработан алгоритм оптимизации регулирования напряжения в многоуровневых распределительных электрических сетях, практическая реализация которого позволяет снизить суммарные затраты в среднем на 4%.

Результаты работы внедрены в Северо-Восточном научном центре Национальной академии наук и Министерства образования и науки Украины.

Ключевые слова: распределительная электрическая сеть, регулирование напряжения, оптимизация режима напряжения, качество электрической энергии.

Dovgalyuk O.M. Perfection of voltage regulation methods in multilevel distributive electric networks on the basis of forecasting of electricity consumption regime. - The manuscript.

A thesis submitted for the degree of Candidate of Science, speciality 05.14.02 "Power plants, networks and systems". - National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, 2004.

The thesis is concerned with investigation of voltage regulation in multilevel distributive electric networks on the basis of forecasting of electric consumption regime.

Probabilistic mathematical models of voltage and load flows in network have been created and applied to a multilevel network with stochastic character of power load. These models have allowed finding out the voltage circulation function and forecast model of voltage function in distributive electricity networks.

The problem of voltage regulation with necessary quality in multilevel distributive networks has been solved using forecast of voltage model and applied in automatic systems of network's control centers. Such approach allows decreasing watt loss in a network and reducing expenses connected with recovering of damage in consequence of low electricity quality. Practical use of developed algorithm of voltage regulation in multilevel distributive networks results in 4 % reduction of total expenses.

Key words: distributive electricity network, voltage regulation, voltage regime optimization, electric energy quality.

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ РЕГУЛЮВАННЯ
НАПРУГИ В БАГАТОРІВНЕВИХ РОЗПОДІЛЬНИХ
ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ НА ОСНОВІ ПРОГНОЗУВАННЯ
ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ**

Відповідальний за випуск

к.т.н. Дьяков Є.Д.

Підп. до друку 10.04.2004 Формат 60x84 $\frac{1}{16}$.

Папір офісний. Друк на ризографі. 1,0 обл.-вид. арк. 0,8 умовн.-друк. арк.

Тираж 100 прим. Замовл. №

ХНАМГ, 61002, Харків, вул. Революції, 12.

Сектор оперативної поліграфії при ІОЦ ХНАМГ.
61002, Харків, ХНАМГ, вул. Революції, 12.