

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Діалло Т'єрно Аміру  
(Республіка Гвінея)

УДК 621.311.161

**УПРАВЛІННЯ РЕЖИМАМИ РОЗПОДІЛЬНИХ  
ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ З ВРАХУВАННЯМ ФАКТОРІВ РИЗИКУ**

Спеціальність 05.14.02 – електричні станції, мережі і системи

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2006

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут”, Міністерство освіти і науки України.

**Науковий керівник:** - доктор технічних наук, професор,  
**Волчуков Микола Павлович**,  
Національний технічний університет  
“Харківський політехнічний інститут”,  
професор кафедри передачі електричної енергії  
- доктор технічних наук, професор,  
**Говоров Пилип Парамонович**,  
Харківська національна академія міського господарства,  
завідувач кафедри світлотехніки та джерел світла

**Офіційні опоненти:** - доктор технічних наук, професор,  
**Журахівський Анатолій Валентинович**,  
Національний університет “Львівська Політехніка”,  
професор кафедри електричних систем і мереж  
- кандидат технічних наук, доцент,  
**Попов Володимир Андрійович**,  
Національний технічний університет України “Київський  
політехнічний інститут”, доцент кафедри електропостачання  
інституту енергозбереження і енергоменеджменту

**Провідна установа:** Інститут проблем моделювання в енергетиці НАН України, м. Київ

Захист відбудеться “ 09 “ листопада 2006 р. о 14:30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 64.050.06 в Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21

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

Автореферат розісланий “ 04 “ жовтня 2006 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Вепрік Ю.М

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** В сучасних умовах електроенергетика відіграє першорядну роль у соціальному й економічному розвитку суспільства і навіть визначає рівень безпеки держав. У цих умовах особливу роль здобуває рішення проблем, пов'язаних з економією паливних і енергетичних ресурсів. У першу чергу це стосується застосування енергозберігаючих технологій передачі та розподілу електричної енергії (ЕЕ), що забезпечують зниження її втрат у мережах і підвищення якості електроенергії (ЯЕ) у споживачів. Численні міжнародні та регіональні науково-технічні конференції останнього часу значну увагу стали приділяти режимам розподільних електричних мереж (РЕМ) міст і промислових підприємств (ПП), як найважливішому факторові енергозбереження. Це обумовлюється наступними основними причинами:

- відбулася структурна перебудова енергетики, обумовлена її входженням в енергоринок;
- електроспоживачі міст і ПП за останні роки стали висувати підвищені вимоги до ЯЕ у зв'язку з широким застосуванням у промисловості, побуті та міському господарстві нової техніки і технологій;
- істотно зросли одинична потужність і питома вага споживачів, які спотворюють ЯЕ у мережах, що обумовлено розширенням області застосування електроенергії;
- зросла роль економічної відповідальності енергосистем за дотримання встановлених показників якості електроенергії, пов'язана з впровадженням ринкових відносин;
- погіршилися умови роботи мереж, викликані їх дробленням та муніципалізацією енергетики.

Найбільш яскраво зазначені вище фактори знайшли відображення під час експлуатації РЕМ міст і ПП. З цієї причини, маючи широко розгалужені, протяжні РЕМ у поєднанні з малоефективною технологією виробництва, передачі та розподілу ЕЕ, енергетика деяких держав, таких, як Україна, Гвінея тощо виявилася в досить скрутному становищі, що ускладнює роботу важливих об'єктів міського господарства.

Аналіз режимів і параметрів РЕМ міст і ПП свідчать про те, що рішення розглянутої задачі в рамках існуючої концепції керування режимами мереж важко здійснити через те, що остання практично вичерпала усі свої можливості. Тому, розвиток теорії, обґрунтування методів, розробка алгоритмів і програм автоматизованого керування режимами РЕМ, що характеризуються багаторівневою структурою, комплексним випадковим характером процесів у них, є актуальною науковою задачею, яка має важливе соціальне та господарське значення.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Тематика роботи зв'язана з основним напрямком науково-дослідних робіт кафедр “Передача електричної енергії” НТУ “ХПІ” та “Електропостачання міст” Харківської національної академії міського господарства і відображає тривалий досвід робіт, пов'язаних з дослідженнями та експлуатацією засобів керування режи-

мами РЕМ міст. Результати, викладені у дисертації, отримані в ході досліджень за держбюджетною науково-дослідною роботою “Розробка наукових основ енергозбереження та освітлення міст” (ХНАМГ), за номером державної реєстрації - 0106U004602.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є розробка наукових основ автоматизованого керування режимами розподільних електричних мереж міст і промислових підприємств з врахуванням факторів ризику та багатокритеріальності задачі для забезпечення ефективності та якості електропостачання споживачів.

У рамках поставленої мети, виникла необхідність розв’язання наступних основних задач:

- розвинути теоретичні засади автоматизованого керування режимами електричних мереж на основі врахування факторів ризику;
- розробити моделі елементів розподільних електричних мереж, що враховують фактори ризику теплового перевантаження лінії та нестабільності напруги;
- розробити методичні основи моделювання параметрів і режимів розподільних електричних мереж міст і промислових підприємств з урахуванням факторів ризику;
- розробити рекомендації щодо керування режимами розподільних електричних мереж міст і промислових підприємств з урахуванням факторів ризику;
- підтвердити ефективність отриманих теоретичних результатів і працездатність запропонованих технічних рішень.

**Об'єктом дослідження** є режими розподільних електричних мереж міст і промислових підприємств.

**Предметом дослідження** є врахування факторів ризику при керуванні режимами розподільних електричних мереж міст і промислових підприємств в умовах багатокритеріальності задачі.

**Методи дослідження.** Для розв’язання поставлених задач у дисертаційній роботі використовувались: методи математичного моделювання процесів в електричних мережах и аналітичного розв’язання нелінійних диференціальних рівнянь, математичний апарат математичної статистики, методи нечіткої логіки і прикладні методи об’єктно-орієнтованого програмування.

#### **Наукова новизна одержаних результатів**

1. Сформульовано й обґрунтовано методи та критерії комплексної оцінки ефективності функціонування розподільних електричних мереж міст та промислових підприємств, які порівняно з відомими враховують фактори ризику та невизначеності вхідної інформації, чим забезпечується більш виважений підхід до оцінки режимів мереж.

2. Отримали подальший розвиток математичні моделі електричних мереж на основі врахування ризику нестабільності напруги та теплового перевантаження лінії, чим забезпечується обґрунтований вибір та уточнення результатів розрахунку параметрів режиму.

3. Розвинуто наукові засади підтримки прийняття рішень під час керування режимами розподільних електричних мереж міст та промислових підприємств на основі врахування факторів ризику та недостатнього обсягу вихідної інформації. На відміну від відомих цей підхід забезпечує комплексне вирішення питань підвищення ефективності роботи електричних мереж і приєднаних до них споживачів.

Використання отриманих основних результатів є внеском у теорію і практику керування режимами розподільних електричних мереж міст та промислових підприємств, чим забезпечується підвищення ефективності роботи мереж та приєднаних до них споживачів.

#### **Практичне значення одержаних результатів:**

1. Отримані в дисертації алгоритми та програми керування режимами електричних мереж дозволили створити порадишник диспетчера, що забезпечує керування режимами електричних мереж за різних величин і характеру навантаження. На основі порадишників створено комплекс програм, що використовується як система підтримки прийняття рішень у диспетчерських центрах АК “Харківобленерго” (м. Харків) і компанії “Електрісіте де Гіне” (м. Конакрі, Республіка Гвінея).

2. Результати досліджень режимів роботи розподільних електричних мереж міст і промислових підприємств використані під час розробки програм комплексної оптимізації режимів розподільних електричних мереж АК “Харківобленерго” і “Електрісіте де Гіне”.

3. Методика визначення ризику теплового перевантаження лінії електропередачі і нестабільності напруги в розподільних електричних мережах міст і промислових підприємств використана для налаштування пристроїв теплового захисту лінії і регуляторів напруги трансформаторів, установлених на підстанціях АК “Харківобленерго” і “Електрісіте де Гіне” Республіки Гвінея.

**Особистий внесок здобувача.** Всі результати, які складають зміст дисертаційної роботи, отримані здобувачем самостійно.

Серед них: редактор схем і прикладне програмне забезпечення систем диспетчерського керування; критерії та методика розрахунку надійності роботи РЕМ, заснована на монетарній оцінці ризику нестабільності напруги та теплового перевантаження лінії; модель прийняття рішень, заснована на оцінці ризику; створення та обґрунтування моделей елементів електричних мереж; розробка основ моделювання параметрів РЕМ міст та ПП з урахуванням факторів ризику; алгоритм керування режимами розподільних електричних мереж з урахуванням факторів ризику.

Аналіз та узагальнення наукових положень щодо врахування факторів ризику здійснено при консультативній допомозі д.т.н., професора Волчукова М.П., якому здобувач виражає свою вдячність.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати роботи доповідалися й обговорювалися на: III міжнародному молодіжному форумі «Радіоелектроніка і молодь у XX століття» (м. Харків, ХДТУР, 1999 р.), XI міжнародній науково-практичній конференції

«Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (м. Харків, НТУ «ХПІ», MicroCAD 2003 р.), міжнародних науково-технічних конференціях «Силова електроніка і енергоефективність» (м. Алушта, НТУ «ХПІ», 2003-2004 р.), науковому семінарі кафедри передачі електричної енергії (м. Харків, НТУ «ХПІ», 2004 р.), міжнародній науково-технічній конференції «Фізичні і технічні проблеми світлотехніки і електроенергетики» (м. Харків, ХНАМГ, 2005 р.), науковому семінарі НАН України з наукових основ енергетики (м. Харків, ХНАМГ, 2005 р.), на науково-технічній конференції «Прогресивні інформаційні і комп'ютерні технології для підвищення ефективності функціонування енергопостачальних компаній і електроенергетичних систем (проблеми, рішення, реалізація, досвід застосування)» (м. Яремча, 2005 р.), на міжнародній науково-технічній конференції «Ефективність і якість електропостачання промислових підприємств» (м. Маріуполь, 2005 р.) та міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми сучасної електротехніки» (м. Київ, Інститут електродинаміки НАНУ 2004 р.).

**Публікації.** Матеріали дисертаційної роботи опубліковані у 10 публікаціях у фахових виданнях ВАК України.

**Структура й обсяг дисертаційної роботи.** Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг роботи становить 188 сторінок, у тому числі 145 сторінок основного тексту, 44 ілюстрацій по тексту та 14 таблиць на 24 сторінках, 5 додатків на 10 сторінках, 92 найменувань використаних літературних джерел на 9 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтовано актуальність і доцільність роботи, сформульовано мету та задачі наукових досліджень, наведено дані про зв'язок роботи з науковими програмами, вказана наукова новизна, практичне значення та реалізація результатів дисертаційних досліджень, наведені дані щодо апробації, публікацій та впровадження результатів роботи.

**У першому розділі** виконано аналіз розподільних електричних мереж, як підсистем промисловості та міського господарства. Дано оцінку структури РЕМ. Показано, що РЕМ міст разом з підприємствами промислового та комунально-побутового призначення створюють техносферу, яка впливає на умови праці й відпочинку його жителів. Оскільки в основі дії кожної з підсистем лежить використання ЕЕ, від роботи РЕМ залежить функціонування найважливіших об'єктів промисловості та міського господарства, що забезпечують нормальну роботу таких сфер, як промисловість, транспорт, побут, охорона здоров'я, культура, спорт, освіта тощо. Тому функціонування РЕМ міст і ПП відображається на всіх сторонах виробничо-господарського, соціального й економічного життя. У цих умовах складність РЕМ міст і ПП обумовлює множинність можливих станів і вимагає врахування всієї сукупності показників під час оцінки варіантів. Викладене вище робить

необхідною оцінку режимів роботи РЕМ міст і ПП за комплексним критерієм, що враховує показники соціальної, технічної, економічної й екологічної адекватності.

Оцінка РЕМ як підсистеми енергетики показала, що вони є останньою технологічною ланкою енергетичних систем і визначають ефективність перетворення ЕЕ в інші види. Встановлено, що найбільш низькою є ефективність операцій з розподілу ЕЕ між окремими споживачами. Втрати ЕЕ на цьому етапі в декілька разів перевищують втрати на її передачу. В розділі обґрунтовано необхідність першочергового рішення задач дисертації стосовно мереж 110-6(10) кВ. Дано оцінку рівня автоматизації керування режимами РЕМ. Показано, що автоматизоване керування технологічними процесами передачі та розподілу ЕЕ в РЕМ міст та ПП здійснюється тільки на її верхніх рівнях. Здебільшого це автоматичні пристрої локальної дії, що здійснюють функції автоматичної зміни коефіцієнта трансформації (АЗКТ) трансформаторів з РПН або реактивної потужності батарей статичних конденсаторів (СКРП), встановлених у центрах живлення (ЦЖ). Останнім часом у РЕМ міст все більш широке застосування отримують системи автоматизованого керування. В основному це системи автоматизованого диспетчерського керування (АС ДК), рідше - системи автоматизованого керування технологічними процесами (АСК ТП).

На нижніх рівнях РЕМ міст застосовуються в основному системи ручного керування, рідше - системи дискретного логічного керування. У той же час визначальний вплив на ефективність роботи РЕМ роблять режими роботи систем нижнього рівня - розподільних електричних мереж середньої напруги, що мають найбільшу довжину і до яких безпосередньо підключена основна маса споживачів. Тому найважливішим напрямком підвищення ефективності використання ЕЕ в РЕМ визнана автоматизація керування режимами РЕМ середньої напруги.

Повноцінне оперативне керування РЕМ міст у даний час істотно ускладнено в зв'язку з їх великою довжиною та наявністю значного числа ліній і вузлів. З цієї причини сьогодні вирішується тільки та частина задач керування режимами РЕМ, що стосується циклів з великим періодом обробки інформації (перспективного, річного та короткострокового планування). Та ж їх частина, що стосується циклів з малим періодом обробки інформації (оперативного та технологічного керування) вирішується лише на інтуїтивно-емпіричній основі на рівні дискретного ручного або автоматичного керування окремими видами устаткування. Це є причиною значного зниження ефективності роботи мереж і, підключених до них електроспоживачів. При цьому низький рівень автоматизації, неповнота і невисокий рівень достовірності первинної інформації у значній мірі знижують якість керування мережами й ефективність використання ЕЕ в них.

Показано, що подальше підвищення ефективності та якості роботи РЕМ може бути досягнуте за рахунок розробки та наступного інтегрування автоматизованих систем керування в існуючі системи контролю і керування мережами енергосистем і побудови на їх основі систем підтримки прийняття рішень диспетчерського персоналу різного рівня. В роботі обґрунтована необхід-

ність розширення числа критеріїв, а також врахування факторів ризику та невизначеності вихідної інформації. Задача керування РЕМ зведена до типової багатокритеріальної задачі з розподіленими в просторі та часі параметрами, а також невизначеним характером інформації про них.

У другому розділі розроблено методологічні основи оптимізації режимів електричних мереж з врахуванням факторів ризику і невизначеності вихідних даних. Через наявність великої кількості взаємозалежних і взаємодіючих підсистем, під час дослідження кожної з них, відбувається збільшення кількості факторів, що враховуються, та рівня складності розв'язуваної задачі. Прийняті при цьому допущення деякою мірою спрощують рішення задачі. Однак у їхній основі лежить незмінність параметрів режиму, а також цін на устаткування та паливо протягом розрахункового періоду, що не забезпечує мінімізації зведених витрат у реальних умовах. Тому необхідним є врахування динаміки зміни основних показників мережі протягом терміну служби. Встановлено, що у зв'язку з наявністю формального протиріччя між об'єктивно існуючою великою кількістю зв'язків підсистем РЕМ, з одного боку, і кінцевим обсягом знань персоналу, з другого, отримати задовільне з погляду практики рішення задачі проблемно.

Розглядом найпростіших оптимізаційних задач показано, що ефективність прийнятих рішень не можна досить повно охарактеризувати за допомогою тільки одного критерія. Застосований найбільш часто критерій ефективності - значення зведених витрат має порівняно невисоку "здатність щодо вирішення", і за різниці в 10-15% порівнювані варіанти розглядаються як практично рівноцінні. Тому для остаточного вибору найкращого рішення визнано доцільним залучити додаткові критерії. В якості таких у роботі розглянуто критерії соціальної та екологічної адекватності. У зв'язку з чисельною несумісністю критеріїв застосована процедура їх згортання.

Як методологічну основу моделювання та оптимізації схем і параметрів РЕМ міст та ПП, що дозволяє коректно врахувати невизначеність вихідної інформації, прийнята теорія, відповідно до якої нечітка множина  $A$  на елементах  $x \in X$  задається сукупністю пар виду  $\{x, \mu_A(x)\}$ ,  $x \in X$ , де  $\mu_A(x)$  - функція належності нечіткої множини  $A$ . При цьому значення  $\mu_A(x)$  функції належності для конкретного  $x$  розглядається, як відображення ступеня належності  $x$  нечіткій множині  $A$ . Для вирішення розглянутої задачі, в роботі інформація про параметри режиму представлена у вигляді нечітких множин, а формування функцій належності здійснено на основі експертних оцінок.

У результаті параметри режиму ( $P_i, Q_i, U_i$ , на елементах мережі), а також стан середовища (ціни на устаткування, матеріали і послуги) у роботі представляються у вигляді нечітких множин:

$$\begin{aligned} \tilde{P}_i &= \{P_i, \mu_{P_i}(L_i)\}, \quad \forall i = \overline{1, k}; & \tilde{U}_i &= \{U_i, \mu_{U_i}(U_i)\}, \quad \forall i = \overline{1, f}; \\ \tilde{Q}_i &= \{Q_i, \mu_{Q_i}(Q_i)\}, \quad \forall i = \overline{1, t}; & \tilde{C}_i &= \{C_i, \mu_{C_i}(C_i)\}, \quad \forall i = \overline{1, c}. \end{aligned} \quad (1)$$



Значення відповідних нечітких множин  $x_i \in X_i = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_k\}$  параметрів мережі і навколишнього середовища отримані на основі аналізу проектної й експлуатаційної документації.

У результаті, параметри  $\tilde{X}_i$  режиму або середовища визначені у вигляді:

$$\tilde{X}_i = \frac{x_i}{\mu_i(\tilde{x}_i)}, \quad \tilde{x}_i = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} \mu_i(\tilde{x}_i) \cdot x_i \cdot dx}{\int_{-\infty}^{+\infty} x_i \cdot dx}. \quad (2)$$

Крім того, перехід до енергоринка означає, що електроенергетика відхилилася від її спочатку встановленої моделі надійного електропостачання споживачів до роботи, націленої на прибуток усіх суб'єктів енергоринка. З метою урахування цього, у роботі введено концепцію ризику:

$$R(X) = \Pr(I_i | X) \cdot E(I_i), \quad (3)$$

де  $\Pr(I_i/X)$  – умовна ймовірність;  $E(I_i)$  – очікуваний вплив робочого стану  $X$ .

В цілому задача оптимізації РЕМ міст і ПП зведена до визначення таких її параметрів, яким відповідають максимум ефективності за заданих критеріїв. Їй відповідає мінімізація функції, що представляє собою суму капітальних та експлуатаційних витрат на передачу і розподіл ЕЕ та супутніх витрат, пов'язаних з надійністю та якістю електропостачання споживачів. В цілому задача оптимізації режимів роботи РЕМ зведена до визначення функціонала виду:

$$\min R_i(\bar{Z}), \quad \forall \bar{Z} = \left\{ \begin{matrix} P \\ U \end{matrix} \right\}. \quad (4)$$

Необхідність одночасного врахування великого числа критеріїв, що не зводяться до одного з них, обумовила пошук узагальненого критерія оптимальності. Для формування узагальненого критерія ефективності здійснена згортка векторного критерія шляхом адитивного врахування всіх приватних критеріїв і представлення узагальненого критерію у вигляді лінійної комбінації

$$F(\bar{Z}) = \sum_{i=1}^n R_i(\bar{Z}) \cdot \gamma_i, \quad (5)$$

де  $\gamma_i$  - ваговий коефіцієнт;  $R_i$  – критеріальна функція  $i$ -ого показника.

Формально процес визначення рішення зведено до розрахунку за визначеним алгоритмом показників ефективності, що входять у визначення оціночного функціонала  $F = \{R_i, \gamma_i\}$ , та виконання розрахунків для визначення оптимального рішення за заданим критерієм.

**У третьому розділі** розглянуто наукові основи врахування фактора ризику теплового перевантаження лінії за різних умов і режимів. Ризик представляється величиною економічних післяаварійних наслідків, що в даному випадку асоціюється з тепловим перевантаженням. Він може бути використаний для прийняття рішень, що стосуються навантаження ліній і роботи системи. Пропонована оцінка складається з двох частин: оцінки ймовірності й оцінки впливу.

Мета представленого підходу – оцінити ризик, пов'язаний з перевантаженням лінії електропередачі під час її роботи. Розглянуто два рівні оцінки: оцінка «компоненти» та оцінка «системи». Задача оцінки компоненти - визначити тепловий ризик для окремої лінії електропередачі з заданим значенням струму. Задачею оцінки системи, заснованої на ймовірнісному розподілі струму по всій системі і на результаті аналізу компоненти, є визначення теплового ризику окремого району або всієї системи, зв'язаної з робочим станом. Ризик розраховується як очікувана величина теплового впливу (рис. 1), включаючи втрату терміну дії проводу внаслідок відпалювання та втрати міцності через провисання. На основі ймовірнісного представлення погодних умов отримана функція ймовірності температури проводу та на основі врахування її впливу визначено значення очікуваного ризику. Оцінка компоненти теплового ризику дає детальну характеристику теплового ризику кожної лінії. Вона також характеризує криву «тепловий ризик-струм» лінії для різних значень струму.

Під час оцінки системи струм кожної лінії визначається робочим станом системи. Оскільки різні лінії мають різні рівні навантажень, різні умови навколишнього середовища та можливості протистояти тепловим навантаженням, то вони дають різні рівні ризику. Тому оцінка теплового ризику системи складається з теплових ризиків окремих частин або цілої системи, заснованих на розподілі струмів у лініях і умовах навколишнього середовища.

Під час моделювання ризику теплового перевантаження ліній в основу покладене рівняння теплового балансу провідника



Рис. 1. Схема дослідження теплового ризику компоненти

$$I^2 R t + Q_s = Q_r(\theta, \theta_a) + Q_c(\theta, \theta_a, u), \quad (6)$$

де:  $I^2 R t + Q_s$  - Джоулеве тепло та притік сонячного тепла, відповідно;  $Q_r, Q_c$  - теплові втрати під час випромінювання та конвекції;  $\theta, \theta_a$  і  $u$  - температура проводу, повітря та швидкість вітру, відповідно.

Залежно від погодних умов - сильний вітер чи тиха погода, конвекційні теплові втрати розділені на вимушені та природні.

Вимушені конвекційні теплові

втрати визначаються з виразів:

$$Q_{c1} = \left[ 1.01 + 0.371 \left( \frac{D \rho_f u}{\mu_f} \right)^{0.52} \right] k_f (\theta - \theta_a), \quad Q_{c2} = 0.1695 \left( \frac{D \rho_f u}{\mu_f} \right)^{0.52} k_f (\theta - \theta_a) \quad (7)$$

$$Q_c = \max(Q_{c1}, Q_{c2}), \quad (8)$$

де:  $Q_c$  - конвекційні втрати (більше значення з  $Q_{c1}$  і  $Q_{c2}$ );  $D$  - діаметр проводу;  $\rho_f$  - щільність повітря;  $\mu_f$  - абсолютна в'язкість (внутрішнє тертя повітря);  $k_f$  - теплопровідність повітря.

Природні конвекційні теплові втрати на рівні моря визначені як

$$Q_{c3} = 0.072D^{0.75}(\theta - \theta_a)^{1.25}, \quad (9)$$

Природні конвекційні теплові втрати над рівнем моря визначені як

$$Q_{c4} = 0.283\rho_f^{0.5}D^{0.75}(\theta - \theta_a)^{1.25}. \quad (10)$$

Теплові втрати в проводі визначені як

$$Q_r = 0.138D\varepsilon \left[ \left( \frac{\theta + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{\theta_a + 273}{100} \right)^4 \right], \quad (11)$$

де:  $\varepsilon$  - постійна теплового випромінювання.

Кількість теплоти отриманої від сонця визначено як

$$Q_s = \delta Q_D F_p \sin(\alpha), \quad (12)$$

де:  $Q_D$  - пряме сонячне випромінювання на земну поверхню;  $F_p$  - запроектований перетин проводу;  $\delta$  - коефіцієнт сонячного поглинання;  $\alpha$  - кут падіння сонячних променів.

У випадку горизонтально розташованого круглого проводу ефективний кут падіння сонячних променів  $\alpha$  визначається за виразом

$$\alpha = \cos^{-1}[\cos H_c \cos(Z_c - Z_l)], \quad (13)$$

де:  $H_c$  - висота сонця над обрієм землі;  $Z_c$  - азимут сонця;  $Z_l$  - азимут проводу.

Оскільки температура проводу під час протікання струму підвищується не миттєво, часові температурні характеристики мають вигляд диференціального рівняння першого порядку

$$P \frac{\partial \theta}{\partial t} = I^2 R(\theta) + Q_s(\theta, \theta_a) - Q_c(\theta, \theta_a, u), \quad (14)$$

де:  $P = 4.186(C_1 W_1 + C_2 W_2)$  - теплоємність проводу;  $C_1$  - питома теплоємність алюмінію;  $W_1$  - вага на довжину одиниці алюмінію;  $C_2$  - питома теплоємність сталі;  $W_2$  - вага на довжину одиниці сталі;  $\theta$  - миттєва температура проводу.

Підвищення температури провідника може викликати негативні механічні й електричні наслідки. Передбачається, що добре спроектована, підібрана та встановлена арматура проводу не є обмежуючим чинником для теплової межі. Тому беруться до уваги тільки провисання і втрата міцності проводу.

Обмежувальною умовою для провисання проводу є те, що температура проводу не повинна перевищувати граничну, за якої провисання ліній не виходить за безпечні межі.

Температура, що відповідає цій умові визначається як

$$\theta_L = \theta_{MITT} + M_g / K_s \quad (15)$$

де:  $\theta_{МПТ}$  - максимальна розрахункова температура, за якої зберігаються запроектовані границі безпеки;  $K_s$  - коефіцієнт провисання, що показує збільшення провисання через підвищення температури на  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $M_g$  - маса (вага) проводу.

У разі позанормативного зниження ізоляційного проміжку маємо:

$$E_{зазор}(\theta) = \{E[\text{припуст. зазор}], \forall \theta > \theta_L, \quad (16)$$

де:  $E[\text{припуст. зазор}]$  - припустиме значення зазору ізоляційного проміжку в роботі перевантаженої мережі.

Вплив відпалювання на теплове перевантаження розглядається пропорційним зменшенню очікуваного терміну служби, представленого, як різниця між часовим інтервалом перевантаження  $\tau$ , під час якого провідник працює за температури  $\theta > \theta_{МПТ}$ , коли зменшення міцності провідника -  $\Delta S(\theta, \tau)$ , і очікуваним часом  $t$ , витраченим на втрату такої ж величини міцності за проектній температурі  $\theta_{МПТ}$ . Це скорочення очікуваного терміну служби  $\Delta t = t - \tau$ .

Під час визначення ризику роботи за підвищеної температури  $\theta > \theta_{МПТ}$ , маємо  $t = t_c(\theta_{МПТ})$  і  $\tau = \tau_c(\theta)$ . Вираз для  $\Delta t$  має вигляд

$$\Delta t = t_c(\theta_{МПТ}) - \tau_c(\theta), \quad (17)$$

де  $\tau_c(\theta)$  - термін служби, що залишився проводу за постійної роботи з  $\theta$ , під час якої міцність провідника зменшується від номінальної до навантаження, що його розтягує;  $t_c(\theta_{МПТ})$  - очікуваний термін служби, що залишився за  $\theta_{МПТ}$ .

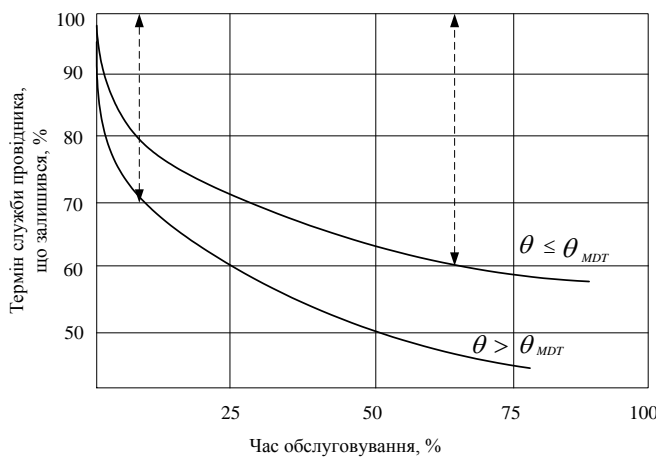


Рис. 2. Характер зменшення терміну дії провідника

Вплив відпалювання теплового перевантаження визначається виразом

$$E_{віджиг}(\theta) = \begin{cases} \frac{\Delta t}{t_0} \cdot C_t, \forall \theta > \theta_{МПТ}, \\ 0, \forall \theta \leq \theta_{МПТ} \end{cases} \quad (18)$$

де  $C_t$  - вартість установки нових проводів;  $t_0 = t_c(\theta_{МДТ})$  - очікуваний термін служби, що залишився, проводу.

Для випадку постійного навантаження з заданим струмом, ймовірність температури проводу  $\theta$  являє собою суму загальної ймовірності всіх зовнішніх умов ( $\underline{z}$ ). Функція ймо-

вірності температури проводу для постійного навантаження

$$\Pr(\theta | I) = \sum_{\underline{z}} \Pr(\underline{z}), \quad \forall \underline{z} \in \{\underline{z} : \theta(\underline{z}, I) = 0\}, \quad (19)$$

За короткочасного перевантаження

$$\Pr(\theta | I) = \sum_{\underline{z}} \Pr(\underline{z}), \quad \forall \underline{z} \in \left\{ \underline{z} : \theta_0 + \int_0^r \frac{\partial \theta(\underline{z}I)}{\partial t} dt = \theta \right\}, \quad (20)$$

де  $\theta_0$  - температура проводу перед короткочасного перевантаження.

Випадковий характер зміни температури повітря  $\theta_a$  і швидкості вітру  $u$  змодельовані як нормальний розподіл і розподіл Вейбулла, відповідно, до виразу (20), де оптимальні параметри функцій розподілу можна одержати, використовуючи точкову оцінку з даних динаміки процесу.

Функції розподілу ймовірності умов навколишнього середовища:

$$\Pr(\theta_a | \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} x e^{-\frac{(\theta_a - \mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad \Pr(u | \gamma, \beta) = \frac{\gamma}{\beta} u^{\gamma-1} e^{-u^\gamma/\beta} \quad (21)$$

де  $\mu$ ,  $\sigma$ ,  $\gamma$  і  $\beta$  – параметри форми та масштаби для обох розподілів, що підраховуються за допомогою розробленої методики.

Залежність температури провідника від умов експлуатації наведено на рис.3. Ризик теплового перевантаження наведено на рис.4.



Рис. 3. Функція щільності загальної ймовірності умов навколишнього середовища (а) та температура провідника (б) при різних умовах навколишнього середовища

Сонячне випромінювання передбачається постійним, доки його вплив відносно низький. Тому вектор  $\underline{z}$ , що використовується у виразах (14) і (19), складається з температури повітря  $\theta_a$  і швидкості вітру  $u$ . Загальний розподіл  $\underline{z}$  отримано з функцій розподілу  $\theta_a$  і  $u$ , та складає:

$$\Pr(\underline{z}) = \Pr(\theta_a | u) \times \Pr(u), \quad (22)$$

Ризик теплового перевантаження для заданого струму  $I$ , визначається як ймовірність температури, більшої ніж  $\theta_{MDT}$ , що відповідає тепловому ризику для одного проводу з даним струмом:

$$R(I) = \int_{\theta > \theta_{\text{MIT}}} \Pr(\theta | I) \cdot [E_{\text{зазор}}(\theta | I) + E_{\text{віджиг}}(\theta | I)] d\theta, \quad (23)$$

де  $\theta$  - температура проводу, на яку впливає струм лінії  $I$  разом з умовами навколишнього середовища;  $\Pr(\theta | I)$ - функція густини умовних ймовірностей температури проводу з заданим струмом  $I$ ;  $R(I)$  – ризик, що відноситься до навантаження цієї лінії.

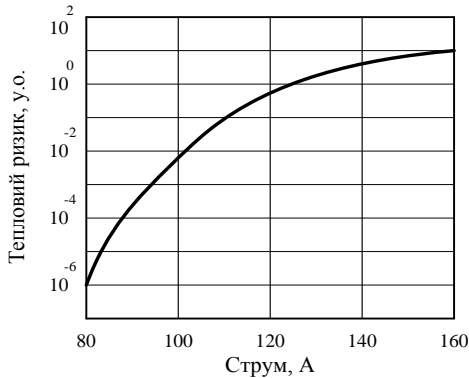


Рис. 4. Крива «тепловий ризик-струм»

У четвертому розділі розглянуто наукові основи врахування фактора ризику нестабільності напруги. Пропонована оцінка ризику, загалом, складається з двох частин: визначення рівня ймовірності й оцінки наслідків. Метод передбачає два ряди оцінок: оцінка компоненти і оцінка системи. Оцінка компоненти (рис.5) визначає вплив напруги на кожен вузол. Оцінка системи, з урахуванням невизначеностей, визначає ризик напруги для даного робочого стану.

Компонента ризику напруги являє собою очікуваний вплив погіршеного електропостачання для ймовірності відхилення напруги від норми. Для визначення оцінки цього ризику у вузлі для даних рівнів напруги необхідні два обчислення: ймовірності появи відхилення напруги на затискачах споживачів і вартості його наслідків. Ризик нестабільності напруги у вузлі розглядається як результат цих двох обчислень.

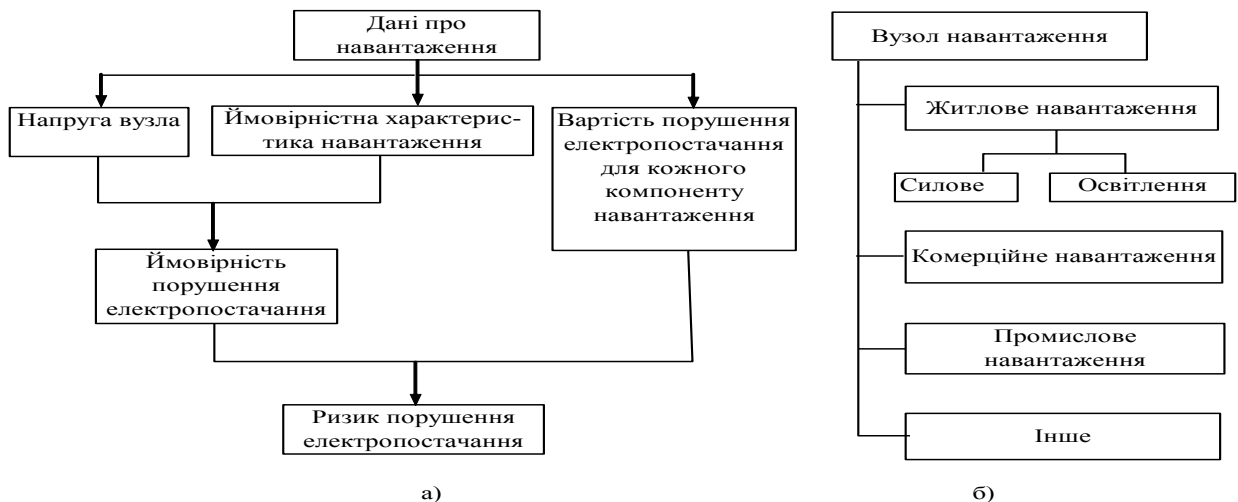


Рис. 5. Блок-схема алгоритму оцінки ризику нестабільності напруги або струму (а) і структура компонент мережі (б)

Загальний вираз для ризику напруги має вигляд:

$$R(U) = \Pr(\text{Collapse}) * \text{Im}(\text{Collapse}) + \Pr(\overline{\text{Collapse}}) * \text{Im}(\text{NoCollapse}), \quad (24)$$

Використовуючи залежності ризику від напруги, отримані за результатами дослідження компонент, можна визначити ризик усієї системи шляхом групування відповідних ризиків, отриманих під час розрахунку ймовірності напруг.

Очікуваний вплив даної напруги у вузлі на навантаження класу “с”

$$E(\text{Im}_{bus} | U_{bus}) = E(P_{bus}) \times \sum_c E(C_{bus,c}) \times E(K_{bus,c}) \times \Pr(U_{L,c} > U_{bus} \text{ or } U_{U,c} < U_{bus} | U_{bus}), \quad (25)$$

де -  $P_{bus}$  загальне навантаження в окремому вузлі;  $K_{bus,c}$  - відсоткове значення навантаження класу “с” у  $P_{bus}$ ;  $E(K_{bus,c}) \times \Pr(U_{L,c} > U_{bus} \text{ or } U_{U,c} < U_{bus} | U_{bus})$  - погіршення електропостачання в навантаженні класу “с”;  $C_{bus,c}$  - вартість погіршення електропостачання навантаження класу “с” у вузлі.

Загальний вираз для ризику має вигляд

$$R(X_0) = E(\text{Im} | X_0) = \Pr(\text{Collapse} | X_0) \times E(\text{Im}(\text{Collapse})) + [1.0 - \Pr(\text{Collapse} | X_0)] \times E(\text{Im}(\text{NoCollapse})), \quad (26)$$

де  $X_0$  - поточний робочий стан. Ризик  $R(X_0)$ , залежний від ймовірності напруги  $\Pr(\text{Collapse}/X_0)$  для стану  $X_0$ ;  $E(\text{Im}(\text{Collapse}))$  - очікуваний вплив колапсу;  $E(\text{Im}(\text{NoCollapse}))$  - очікуваний вплив неколапсу (або перенапруги).

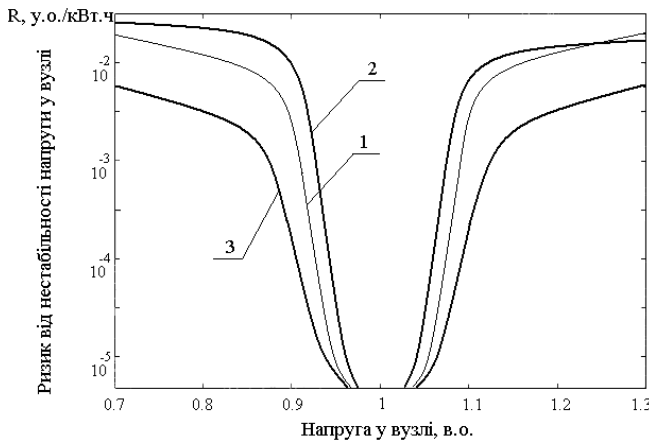


Рис. 6. Залежність ризику від напруги у вузлі

- 1 – житлове навантаження;
- 2 – промислове навантаження;
- 3 – комерційне навантаження.

Ймовірність колапсу за аварійної ситуації

$$\Pr(\text{Collapse} | E_i) = \Pr(M_i < 0 | E_i), \quad (27)$$

Де  $M_i = L_{mi} - L$  випадкова межа навантаження з нормальним Гауссовським розподілом ймовірностей:

$$\begin{aligned} M_i &\approx N(\mu_{mi}, \sigma_{mi}^2) \\ \mu_{mi} &= E(L_{mi}) - \mu_L, \\ \sigma_{mi}^2 &= \underline{S}_p^T \times V_p \times \underline{S}_p + \sigma_L^2 \end{aligned} \quad (28)$$

Очікуваний вплив напруги для заданого рівня напруги:

$$E(\text{Im} | L, E_i) = \sum_{bus} \int_{V_{bus}} E(\text{Im}_{bus} | U_{bus}) \Pr(U_{bus}) dU_{bus}, \quad (29)$$

де  $\Pr(U_{bus})$  - функція густини нормальних ймовірностей.

Очікуваний вплив напруги, коли немає лавини має такий вигляд:

$$E(\text{Im}(\text{NoCollapse})) = \sum_{E_i} \left( \int_L E(\text{Im} | L, E_i) \times \Pr(L) dL \right) \times \Pr(E_i), \quad (30)$$

Вплив лавини напруги являє собою вартість перерви електропостачання всієї системи:

$$E(\text{Im}(\text{Collapse})) = \sum_{bus} \left( P_{bus} \sum_c C_{bus,c} \times K_{bus,c} \right), \quad (31)$$

Результати розрахунку залежності ризику від нестабільності напруги наведено на рис.6.

У п'ятому розділі дана загальна характеристика РЕМ, як об'єкта керування. Виконано декомпозицію РЕМ за функціональною ознакою, зроблено висновок щодо складності керування ними. В умовах дефіциту часу, необхідності великого обсягу і наявності рівня неточності оперативної інформації, за обмежених людських можливостей персоналу запропоновано застосування людино-машинних систем оперативної підтримки прийняття рішень (СППР). В основу дії розроблювальної СППР прийнято традиційний алгоритм виду: “Дані + Програма (Алгоритм) = Рішення”, у поєднанні з інтегрованим підходом. Це передбачає побудову СППР по шляху від простого до складного (від однорівневої СППР до багаторівневої). При цьому, залежно від рівня інформаційного забезпечення, передбачаються наступні основні ситуації: прийняття рішень ЛПР за інформацією від ЕОМ, прийняття рішень ЛПР за рекомендацією ЕОМ, прийняття рішень у діалозі людина-ЕОМ і прийняття рішень ЕОМ.

У загальному вигляді СППР входить до складу АСК РЕМ. Структура системи керування РЕМ розглядається як триконтурна (контур САЗ, контур САК і контур АСК). Пошук оптимального рішення здійснюється для всіх можливих станів системи. Модель пошуку забезпечує пошук рішення на основі інформації, зібраної в банку даних із засобів ручного й автоматичного введення. Модель має зв'язок з блоком оцінки станів, банком даних, блоком вироблення множин рішень і блоком оцінки отриманих результатів. Розглянута структура відображає процес прийняття рішень з урахуванням розподілу його між людиною і машиною. Під час розробки математичної моделі РЕМ прийнято багаторівневий підхід, що передбачає декомпозицію системи та її описів з розбивкою загальної задачі на сукупність задач меншої складності та розмірності.

Задача СППР зводиться до пошуку і реалізації оптимального рішення. При цьому ослаблення ризику досягається цілеспрямованим вибором схем з множин альтернатив на основі аналізу подій. Множина варіантів схем представляється множиною альтернатив, а розмаїття режимів – множиною станів. Множина наслідків представляється множиною збитків (економічних, соціальних та екологічних). Вибір оптимальної схеми електропостачання виконується за цих умов шля-

хом пошуку схеми з

$$R_i(\bar{Z}) \Rightarrow \min.$$

Алгоритм програми прийняття рішень з урахуванням факторів ризику і невизначеності вхідних даних наведено на рис.7.

Розроблена СППР являє собою інтегровану систему, що

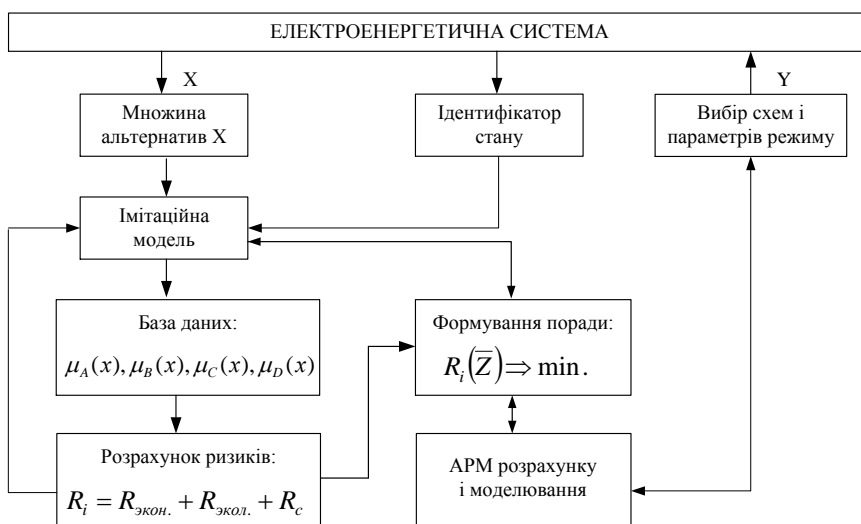


Рис.7. Структура програми прийняття рішень



добре вписується в існуючі системи автоматизованого диспетчерського керування (АСДК) і забезпечує можливість її нарощування від невеликої підсистеми до великої мережі. Використання СППР у складі АСДК “ХОЕ”, як елемента АСК ТП підтвердило наявність технічної можливості та економічної доцільності автоматизованого управління режимами розподільних електричних мереж з урахування факторів ризику. Урахування ризику нестабільності напруги та теплового перевантаження повітряних ліній на прикладі одного з вузлів навантажень міських електричних мереж 110/10 кВ “ХОЕ” вказало на можливість економії за рахунок одночасного врахування вимог споживачів та енергосистем близько 25 тис. грн. на рік.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі теоретичних та експериментальних досліджень вирішена важлива науково-технічна задача, яка полягає в установленні закономірностей процесів керування режимами розподільних електричних мереж в умовах ризику та невизначеності вхідних даних, що дозволило розробити рекомендації щодо структур, критеріїв та параметрів керування ними. Отримані в дисертації моделі, алгоритми, програми та результати їх практичної реалізації у своїй сукупності являють суттєвий внесок у теорію та методи автоматизованого керування режимами мереж.

Основні висновки та практичні рекомендації дисертації полягають в наступному:

1. Встановлено, що основними факторами, що знижують ефективність режимних заходів під час управління режимами розподільних електричних мереж є значна трудомісткість розрахунків та необхідність маніпулювання великим обсягом оперативної інформації. Показано, що найбільш ефективним шляхом вирішення поставленої задачі є застосування у диспетчерському керуванні систем підтримки прийняття рішень оперативним персоналом.

2. Розвинуто теорію, визначено засади та розроблено математичні моделі для дослідження режимів електричних мереж з урахуванням факторів ризику та невизначеності вхідної інформації. Запропоновано алгоритми та розроблено програму автоматизованого управління режимами розподільних електричних мереж.

3. Розвинуто й узагальнено теоретичні засади математичного моделювання елементів електричних мереж на основі врахування факторів ризику теплового перевантаження та нестабільності напруги, що дає змогу більш точного визначення параметрів оптимального режиму.

4. Розроблено математичні моделі елементів електричних мереж, які враховують фактори ризику та невизначеності вхідних даних, що дало змогу побудувати алгоритми та розробити програми автоматизованого керування режимами мереж.

5. Розвинуто й узагальнено теоретичні засади побудови математичних моделей режимів роботи електричних мереж з урахуванням невизначеності вхідних даних, що дало змогу визначити параметри режиму мереж в умовах малого обсягу та невисокої точності вхідних даних.

6. Запропоновано науково-технічні та алгоритмічні засади підтримки прийняття рішень оперативного персоналу енергосистем, які враховують ризики теплового перевантаження мереж та нестабільності напруги в них. Їх застосуванням забезпечується підвищення ефективності роботи мереж та приєднаних до них споживачів.

7. Результати дисертаційної роботи знайшли впровадження у вигляді математичних моделей елементів електричних мереж, алгоритмів та програм автоматизованого керування режимами мереж в АК «Харківобленерго» та «Електрисіте де Гіне», учбовому процесі НТУ «ХП», ХНАМГ тощо. Їх впровадження забезпечило підвищення ефективності роботи розподільних мереж 110-10 кВ та якості викладання енергетичних дисциплін у ВНЗ.

### СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Охрименко В.Н., Диалло Т.А. Контроль состояния электрической сети в составе информационно-управляющей системы // Збірник наукових праць Харківського державного технічного університету радіоелектроніки. – Харків: ХДТУР, 1999.- Ч.2.- С. 24-27.

Здобувачу належить прикладне програмне забезпечення систем диспетчерського керування.

2. Дудар З.В. Охрименко М.В., Диалло Т.А. Редакторы схем в составе прикладного программного обеспечения АСДУ // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. –Харьков: ХГПУ, 2000.- вып. 125.- С. 71-77.

Здобувачу належить побудова редактора схем.

3. Волчуков Н.П., Диалло Т.А. Монетарная оценка риска для исследования влияния нестабильности напряжения на надежности работы электроэнергетической системы // Технічна. електродинаміка. – Київ, 2003.- Тем. вип. - Ч.2.- С. 104-107.

Здобувачу належать критерії та методика розрахунку надійності роботи розподільних електричних мереж, заснована на монетарній оцінці ризику нестабільності напруги.

4. Волчуков Н.П., Диалло Т.А. Оценка риска тепловой перегрузки линии электропередачи // Вісник Національного технічного університету “Харківський Політехнічний Інститут”. – Харків: НТУ “ХП”.- 2003.- Вип. 9.- т.3.- С. 35-40.

Здобувачу належить методика оцінки ризику теплового перевантаження повітряних ліній електропередач.

5. Волчуков Н.П., Диалло Т.А. Выбор стратегии принятия решений диспетчерским персоналом электроэнергетической системы в рыночных условиях // Вісник Національного технічного університету “Харківський Політехнічний Інститут”. – Харків: НТУ “ХП”.- 2003.- Вип. 10.- т.2.- С. 306-309.

Здобувачу належить модель прийняття рішень.

6. Волчуков Н.П., Диалло Т.А. Анализ надежности работы линии электропередачи при тепловой перегрузке // Вісник Національного технічного університету “Харківський Політехнічний Інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”.- 2004.- Вип. 4.- С. 69-77.

Здобувачу належить ідея оцінки надійності роботи повітряних ліній при тепловому перевантаженні.

7. Говоров Ф.П., Диалло Т.А. Оценка риска нестабильности напряжения в электрических сетях // Технічна. електродинаміка. - Київ, 2004.- Тем. вип. - Ч.7.- С. 46-49.

Здобувачу належить створення та обґрунтування моделі елементів електричних мереж.

8. Говоров Ф.П., Диалло Т.А. Управление режимами электрических сетей с учетом риска нестабильности напряжения // Технічна. електродинаміка.– Київ, 2004.- Тем. вип.- Ч.1.- С.107-111.

Здобувачу належить розроблення основ моделювання параметрів розподільних електричних мереж з урахуванням фактору ризику.

9. Говоров Ф.П., Диалло Т.А. Управление режимами распределительных электрических сетей с учетом фактора риска // Збірник праць Приазовського державного технічного університету. - Маріуполь, 2005.- С. 213-216.

Здобувачу належить алгоритм керування режимами розподільних електричних мереж з урахуванням фактору ризику.

10. Диалло Т.А. Модель принятия решений, основанная на оценке риска в энергетике // Світлотехніка та електроенергетика.- Харків: Харківська національна академія міського господарства. - 2005.- № 6.- С. 64-69.

## АНОТАЦІЯ

**Диалло Т.А. Керування режимами розподільних електричних мереж з урахуванням факторів ризику і невизначеності вхідних даних. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.02 – електричні станції, мережі і системи. – Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”. Харків - 2006.

Дисертація присвячена підвищенню ефективності керування режимами розподільних електричних мереж і оцінці надійності роботи електропостачальної системи з урахуванням фактору ризику і невизначеності вхідної інформації. Тим самим, вирішується задача підвищення ефективності роботи мереж і, підключених до них, споживачів.

Розроблено методологічні основи автоматизованого керування режимами розподільних електричних мереж в умовах невизначеності вхідної інформації і багатокритеріальності задачі, що забезпечує підвищення ефективності та якості електропостачання споживачів.

Розроблено моделі нагрівання проводів та отримані аналітичні вирази для розрахунків ризиків теплових перевантажень ліній електропередач і нестабільності напруги у вузлі.

На основі теорії оптимального керування розроблено алгоритм керування режимами розподільних електричних мереж, що забезпечують вибір оптимального варіанта схеми мережі, чим забезпечується більш ефективне функціонування мереж.

На основі отриманих результатів розроблено програмно-алгоритмічні системи підтримки прийняття рішень оперативним персоналом енергосистем, що впроваджена в АК «Харківобленерго». Цим було забезпечено підвищення якості керування й ефективності роботи розподільних мереж і приєднаних до них споживачів.

**Ключові слова:** розподільні електричні мережі, управління режимами, ризик теплового перевантаження, ризик нестабільності напруги, невизначеність вихідної інформації.

## АННОТАЦІЯ

**Диалло Т.А. Управление режимами распределительных электрических сетей с учетом факторов риска и неопределенности исходных данных.** – Рукопись.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – электрические станции, сети и системы. – Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”. Харьков - 2006.

Диссертация посвящена повышению эффективности управления режимами распределительных электрических сетей и оценке надежности работы электроснабжающей системы с учетом фактора риска и неопределенности исходной информации. Тем самым решается задача повышения эффективности работы сетей и, подключенных к ним, потребителей.

В диссертационной работе на основе данных теоретических и экспериментальных исследований установлены закономерности функционирования, критерии и параметры управления режимами распределительных электрических сетей в условиях риска и неопределенности исходных данных. Это позволило разработать рекомендации относительно структур, критериев и параметров управления сетями.

В работе дано обоснование методов и разработаны технические средства автоматизированного управления режимами распределительных электрических сетей, характеризующихся многоуровневой структурой и комплексным случайным характером процессов в них. В диссертации сформулированы основные требования к оптимальному функционированию распределительных электрических сетей городов и промышленных предприятий в условиях неопределенности исходной информации, многокритериальности и многовариантности задачи. Проведен анализ параметров и режимов распределительных электрических сетей, определены условия надежной, качественной и экономичной передачи и распределения электроэнергии.

Разработаны методологические основы автоматизированного управления режимами распределительных электрических сетей городов и промышленных предприятий в условиях неопре-

деленности исходной информации и многокритериальности задачи, обеспечивающих повышение эффективности и качества электроснабжения потребителей.

Разработаны модели нагрева проводов и получены аналитические выражения для расчета риска тепловой перегрузки линии электропередачи и нестабильности напряжения в узле.

На основе теории оптимального управления разработаны алгоритмы управления режимами распределительных электрических сетей, обеспечивающие выбор оптимального варианта схемы сети, чем обеспечивается эффективное функционирование сетей.

Установлено, что для повышения качества управления распределительными электрическими сетями городов и промышленных предприятий применительно к условиям и режимам их работы, наиболее приемлемым является применение систем поддержки принятия решений, обеспечивающих учет факторов риска и неопределенности исходной информации, а также многокритериальности и многовариантности задачи.

На основе полученных научных результатов разработаны программно-алгоритмические основы системы поддержки принятия решений оперативным персоналом энергосистем, которая внедрена в АК «Харьковоблэнерго». Этим было обеспечено повышение качества управления и эффективности работы распределительных сетей и присоединенных к ним потребителей.

**Ключевые слова:** распределительные электрические сети, управление режимами, риск тепловой перегрузки, риск нестабильности напряжения, неопределенность исходной информации,.

## ABSTRACT

**Diallo T.A. Modes management of distributive electric networks, including risk factors and uncertainty of the initial data.** – Manuscript.

The thesis for candidate degree of technical sciences of speciality 05.14.02 - Power plants, networks and systems. - National technical university "Kharkov polytechnical institute". Kharkov - 2006.

The thesis is devoted to the improvement of the quality of management by modes of distributive electric networks and an estimation of work reliability of a power system including a risk factor and uncertainty of the initial data. Thus, the problem overall performance increase of networks and connected to them, consumers is solved.

Methodological bases of automated management by modes of distributive electric networks of cities and the industrial enterprises in conditions of uncertainty of the initial information and multicriterial of the problems, providing increase of efficiency and quality of electrosupply of consumers, are developed.

Models of wires' heating are developed, and analytical expressions for thermal overload risk calculation of a transmission line and instability of a voltage in unit are received.

On the basis of the theory of optimum control algorithms of distributive electric networks management by modes providing a choice of an optimum variant of the circuit of a network are developed, than effective functioning networks is provided.

The decision-making system algorithmic bases for operating personnel had been developed as a result of the scientific researches and have been provided in the company “Kharkovoblenergo”. It had been provided improvement of the quality of management and an overall performance of distributive networks and the consumers attached to them.

**Key words:** the distributive electrical networks, control by regimes, the risk of thermal overload, the power instability risk, the initial information uncertainty.

Підписано до друку 14.09.2006 р. Формат видання 60x90/16.

Гарнітура Таймс. Папір офсетний. Друк – ризографія.

Ум. друк. арк. 0,9. Наклад 100 прим. Замовлення №695162.

Свідоцтво № 04058841Ф0050331 від 21.03.2001 р.

61024, м. Харків, вул. Гуданова, 4/10.