

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Пискляров Дмитро Сергійович

УДК 621.311.161

**МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ВТРАТ  
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ 10 (6) кВ  
З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКИХ МНОЖИН**

Спеціальність 05.14.02 – Електричні станції, мережі і системи

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Вінниця – 2009

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Вінницькому національному технічному університеті Міністерства освіти і науки України

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
**Кутін Василь Михайлович,**  
Вінницький національний технічний університет,  
професор кафедри електричних станцій та систем

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Заболотний Іван Петрович,**  
Донецький національний технічний університет,  
завідувач кафедри електричних систем;

доктор технічних наук, професор  
**Назаров Володимир Васильович,**  
ВАТ ЕК „Хмельницькобленерго”,  
науковий співробітник

Захист відбудеться “27” листопада 2009 р. о 9<sup>30</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 05.052.05 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, 210 ГУК.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Вінницького національного технічного університету за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.

Автореферат розісланий “26” жовтня 2009 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

В. Ц. Зелінський

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Рівень технологічних витрат електроенергії (ТВЕ) на її транспортування є одним з важливих показників ефективності експлуатації розподільних мереж енергопостачальними компаніями України. Тому для формування звітної документації по закінченні кожного розрахункового періоду необхідно визначати нормативні та звітні ТВЕ, а також нетехнічні втрати. Діюча методика формування структури балансу електроенергії у розподільних електричних мережах (ЕМ) регламентує методи обчислення нормативних ТВЕ, а також розрахунок звітних витрат електроенергії, які необхідно зменшувати за рахунок електроощадних заходів. Ефективність планування останніх залежить від точності розрахунку їх складових, що визначається інформаційною та методичною похибками, й безпосередньо пов'язана з об'ємом та якістю вихідних даних.

Таким чином, для розподільних ЕМ 10(6) кВ склалася ситуація, коли з одного боку, на них припадає вагома частина звітних ТВЕ, а з іншого, відсутність спостережності унеможливорює аналіз структури ТВЕ з необхідною точністю, через похибки розрахунку навантажувальних витрат електроенергії. Основною причиною такої ситуації є брак коштів, які потрібні на встановлення засобів технічного обліку електроенергії.

Враховуючи необхідність використання бази даних автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) в задачах розрахунку навантажувальних витрат, постає проблема забезпечення спостережності розподільних мереж 10(6) кВ вимірювальними засобами даної системи. Однак, оскільки встановлення засобів обліку АСКОЕ в усіх точках розмежування розподільної ЕМ 10(6) кВ є технічно та економічно не доцільним, вирішення проблеми спостережності ЕМ може бути отримане лише за рахунок комплексного підходу, що полягає у оптимальному насиченні ЕМ засобами обліку сумісно з підвищенням ефективності методів розрахунку навантажувальних витрат електроенергії.

Таким чином, розвиток шляхів та методів підвищення точності визначення витрат електроенергії в ЕМ 10(6) кВ за рахунок оптимізації спостережності таких мереж засобами АСКОЕ та вдосконалення моделей навантажувальних витрат електроенергії, а також методів їх розрахунку, є актуальною науково-прикладною проблемою.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертація виконана в плані наукових досліджень, проведених кафедрою електричних станцій та систем Вінницького національного технічного університету за держбюджетною темою “Оптимальне керування взаємними і транзитними перетоками потужності в об'єднаних електроенергетичних системах” (№ держреєстрації 0107U003430).

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є підвищення точності визначення витрат електроенергії в розподільних електричних мережах 10(6) кВ та їх зменшення шляхом вдосконалення методів розрахунку їх навантажувальної складової, а також покращення спостережності вказаних мереж.

Для досягнення поставленої мети в роботі розв'язуються такі основні завдання:

- аналіз передумов впровадження АСКОЕ в розподільних ЕМ 10(6) кВ;
- дослідження наявних методів визначення навантажувальних витрат у розподільних ЕМ 10(6) кВ;
- дослідження впливу якості інформаційного забезпечення на точність розрахунку навантажувальних витрат електроенергії в розподільних мережах 10(6) кВ;
- розроблення методу визначення коефіцієнта форми графіка групового навантаження в розподільних мережах 10(6) кВ за умов неповної вихідної інформації;
- вдосконалення методу оцінювання ступеня спостережності розподільних мереж 10(6) для задач розрахунку навантажувальних витрат електроенергії;
- алгоритмічна реалізація визначення навантажувальних витрат електроенергії в розподільних ЕМ 10(6) кВ за умов функціонування АСКОЕ, а також оцінювання ступеня спостережності вказаних мереж;
- розроблення алгоритму визначення місць розташування засобів вимірювання для забезпечення максимального ступеня спостережності розподільної ЕМ з використанням аналізу чутливості;
- розроблення методу оптимізації послідовності впровадження та розвитку

інформаційного забезпечення АСКОЕ з використанням нечіткого багатокритеріального аналізу.

**Об'єктом дослідження** є розподільні електричні мережі 10(6) кВ.

**Предметом дослідження** є методи і засоби підвищення точності розрахунку втрат електроенергії в розподільних ЕМ 10(6) кВ.

**Методи дослідження.** Для аналізу та розв'язання поставлених задач використовувалися методи теорії нечітких множин, елементи нечіткого багатокритеріального аналізу та теорії ігор. Вдосконалений метод визначення ступеня спостережності розподільних мереж 10(6) кВ базується на теорії інтервального аналізу та теорії похибок. Задача оптимізації розміщення засобів вимірювання АСКОЕ для забезпечення максимального ступеня спостережності розв'язувалася з використанням методів аналізу чутливості.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в наступному.

1. Використовуючи математичний апарат теорії нечітких множин, отримали подальший розвиток методи розрахунку втрат електроенергії у розподільних мережах 10(6) кВ, що проявляється у врахуванні впливу імовірнісних характеристик навантаження окремих споживачів на коефіцієнти форми графіків групового навантаження, а також графіків зміни перетоків потужності в даних мережах. Це дозволяє підвищити точність результатів розрахунку навантажувальних втрат електроенергії в умовах неповної вихідної інформації.

2. На підставі дослідження інтервалів невизначеності втрат електроенергії в розподільних мережах 10(6) кВ, вдосконалено метод оцінювання ступеня їх спостережності, що дозволяє більш обґрунтовано аналізувати придатність наявного інформаційного забезпечення АСКОЕ для планування заходів по зменшенню втрат.

3. Вперше, використовуючи засоби нечіткого багатокритеріального аналізу, розроблено метод оптимізації розвитку інформаційного забезпечення АСКОЕ для розподільних мереж 10(6) кВ, в якому, на відміну від відомих, враховується динаміка зміни ступеня спостережності таких мереж, що дозволяє підвищити точність визначення втрат електроенергії та забезпечити умови для ефективного планування заходів щодо їх зменшення.

**Практичне значення одержаних результатів:**

– розроблено ряд алгоритмів, що забезпечують комплексне розв'язання задачі підвищення точності розрахунку навантажувальних втрат електроенергії в розподільних ЕМ 10(6) кВ з використанням інформаційних засобів АСКОЕ за рахунок оцінювання ступеня спостережності ЕМ та його оптимального підвищення шляхом відповідного розташування засобів вимірювання.

– на базі зазначених алгоритмів розроблено модуль аналізу вірогідності результатів визначення втрат електроенергії в електричних мережах 10(6)/0,4 кВ для програми розрахунку й оптимізації технічних втрат «ВТРАТИ-10/0,4», а також створено програму оптимізації розміщення засобів вимірювання для забезпечення максимальної спостережності розподільних ЕМ.

Розроблені в дисертації алгоритми й програми передані для дослідної експлуатації до ВАТ „АК Вінницяобленерго” та ВАТ „АК Харківобленерго”. Теоретичні та програмні розробки використовуються у навчальному процесі кафедри електричних станцій і систем Вінницького національного технічного університету.

**Особистий внесок здобувача.** Результати, які складають основний зміст дисертаційної роботи, отримані автором самостійно. У роботах, опублікованих у співавторстві автору належать: [1, 2, 9] – вдосконалення методу оцінювання ступеня спостережності розподільних мереж 10(6) кВ для задач розрахунку навантажувальних втрат електроенергії; [3, 4] – розроблення методу оптимізації послідовності розвитку інформаційного забезпечення АСКОЕ з використанням нечіткого багатокритеріального аналізу та алгоритму визначення місць розташування вимірювальних засобів на підставі аналізу чутливості; [5, 6] – розроблення методу визначення коефіцієнта форми графіка групового навантаження розподільних мереж 10(6) кВ за умов неповної вихідної інформації з використанням теорії нечітких множин; [7, 8, 10] – розроблення алгоритму визначення навантажувальних втрат електроенергії в розподільних мережах 10(6) кВ та оцінювання ступеня спостережності ЕМ, використовуючи інформаційне забезпечення АСКОЕ.

**Апробація результатів дисертації.** Головні результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися:

- на Міжнародних науково-практичних конференціях „Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України” (м. Харків, 2006, 2007, 2008 рр.);
- на VII-й, VIII-й Міжнародних науково-технічних конференціях “Контроль і управління в складних системах” (м. Вінниця, 2005, 2008 рр.);
- на V-й Міжнародній науково-технічній конференції „Ефективність та якість електропостачання промислових підприємств” (м. Маріуполь, 2008 р.);
- на Міждержавній науково-методичній конференції „Проблеми математичного моделювання”, (м. Дніпродзержинськ, 2007 р.).

**Публікації.** За результатами проведених досліджень опубліковано 10 наукових робіт, 8 з яких у фахових виданнях та 2 статті у збірниках матеріалів міжнародних конференцій.

**Структура й обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел (112 найменувань), п’яти додатків. Основний зміст викладений на 117 сторінках друкованого тексту, містить 22 рисунки, 16 таблиць. Загальний обсяг дисертації – 168 сторінок.

### ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, сформульовані мета, наукова новизна і практична цінність отриманих результатів, а також наведені відомості про апробацію отриманих результатів.

В **першому розділі** проаналізовано методи розрахунку навантажувальних втрат електроенергії в розподільних ЕМ 10(6) кВ, а також передумови впровадження АСКОЕ в таких мережах. За результатами аналізу сформовано структуру задач математичного моделювання, скерованих на забезпечення необхідної точності визначення зазначеної складової втрат за рахунок залучення інформаційних засобів АСКОЕ, а також намічено шляхи розв’язання зазначених задач.

Найбільш точне значення навантажувальних втрат електроенергії в мережах 10(6) кВ можна отримати шляхом інтегрування в часі втрат активної потужності, які розраховуються за поелементним методом

$$W_{\text{акт}} = \int_0^T I^2 R dt, \quad (1)$$

де  $I(t)$  – повний струм в елементі в момент часу  $t$ ;  $T$  – розрахунковий період;  $R$  – активний опір елемента електричної мережі. Однак, враховуючи недостатній ступінь спостережності розподільних мереж 10(6) кВ, для розв’язання даної задачі часто користуються методом середніх навантажень з попереднім еквівалентуванням розподільної мережі

$$W_{\text{акт}} = W_p + W_Q, \quad (2)$$

де  $W_p, W_Q$  – значення відпуску активної та реактивної електроенергії в ЕМ протягом розрахункового періоду;  $R_{\text{ек}}$  – активний опір, отриманий в наслідок еквівалентування ЕМ;  $k_{\text{фр}}$  та  $k_{\text{фQ}}$  – коефіцієнти форми графіків активного та реактивного навантаження головної ділянки ЕМ;  $U_{\text{ср}}$  – усереднена напруга на шинах живильної підстанції.

Показано, що використання спрощеного виразу (2) призводить до збільшення методичної похибки розрахунку та негативно впливає на ефективність заходів по зниженню рівня втрат електроенергії.

Встановлено, що зменшення методичної похибки розрахунку навантажувальних втрат електроенергії в розподільних мережах 10(6) кВ можна досягти лише за рахунок насичення таких мереж додатковими вимірювальними каналами. Враховуючи розмірність та просторову розгалуженість розподільних ЕМ, впровадження додаткових вимірювальних засобів вимагає значних капіталовкладень, що робить необхідним проведення всебічного аналізу ступеня спостережності розподільних мереж 10(6) для задач формування адекватної структури балансу електроенергії, а особливо, розрахунку навантажувальних втрат

електроенергії.

Аналіз результатів досліджень у даному напрямку показав практичну непристосованість існуючих методів оцінки спостережності для використання в розімкнених мережах, особливо, в умовах частково невизначеної вихідної інформації про режими електроспоживання.

Виходячи з того, що розвиток інформаційних систем, таких як АСКОЕ є довготривалим процесом, обґрунтовано актуальність задачі вдосконалення існуючих методів розрахунку навантажувальних втрат електроенергії в розподільних мережах 10(6) кВ з метою підвищення точності обчислень в умовах відсутності належного інформаційного забезпечення. З цією метою запропоновано використовувати теорію нечітких множин, оскільки на її засадах отримано позитивне вирішення ряду задач електроенергетики, для яких характерна невизначеність вихідної інформації.

**В другому розділі** досліджено вплив недосконалості інформаційного забезпечення розподільних ЕМ 10(6) кВ на точність розрахунку навантажувальних втрат електроенергії в них. З метою його чисельного оцінювання запропоновано метод визначення ступеня спостережності ЕМ 10(6) кВ. Для підвищення точності розрахунку навантажувальних втрат електроенергії за середніми навантаженнями розроблено метод визначення коефіцієнта форми графіка групового навантаження ЕМ в умовах епізодичної фіксації графіків відпуску електроенергії окремих трансформаторних підстанцій (ТП) 10/0,4 кВ.

Порівняння результатів розрахунків втрат електроенергії, виконаних на основі типового переліку вихідних даних, зі значеннями, які отримані з натурального експерименту (в умовах повної спостережності), дозволяє стверджувати, що вже для ЕМ 10(6) кВ з кількістю вузлів до 10, відносна похибка може зростати на 7-10% лише через відсутність фіксації графіка електроспоживання на шинах 0,4 кВ ТП 10(6)/0,4 кВ.

Враховуючи, що втрати електроенергії в ЕМ 10(6) кВ переважно визначаються за методом середніх навантажень, для вирішення зазначеної вище проблеми інформаційного забезпечення обчислювальними засобами, запропоновано метод розрахунку коефіцієнта форми графіка групового навантаження ЕМ з представленням корисного відпуску по окремих ТП у вигляді нечітких множин, що пов'язано з відсутністю засобів його періодичної фіксації.

Аналізуючи графіки відпуску електроенергії ТП 10(6)/0,4 кВ, які отримано в результаті натурних експериментів у ЕМ м. Вінниці та м. Харкова встановлено, що для більшості ТП коефіцієнт форми графіка змінюється в інтервалі [1,0; 1,15]. Задавши крок зміни коефіцієнта 0,015 отримано ряд можливих значень коефіцієнта форми графіка сукупного навантаження споживачів окремої ТП 10(6)/0,4 кВ

$$K_{\phi} = \{1; 1,015; 1,03; 1,045; 1,06; 1,075; 1,09; 1,105; 1,12; 1,135; 1,15\}.$$

Для ідентифікації коефіцієнта форми графіка навантаження застосовано наступне представлення груп споживачів 10(6) кВ в аналітичному вигляді

(3)

де  $k_{\phi_i}$  – коефіцієнт форми графіка окремого споживача, тобто елемент множини  $K_{\phi}$ ;  $\mu_{k_{\phi_i}}$  – значення функції належності коефіцієнта форми  $k_{\phi_i}$  до відповідної групи споживачів;  $s$  – кількість визначальних елементів нечіткої множини. Враховуючи результати обробки більше 500 експериментальних графіків електроспоживання, запропоновано ряд груп споживачів (табл. 1).

Таблиця 1

### Структура груп споживачів за графіками навантаження

Коефіцієнт форми графіка групового навантаження запропоновано визначати

об'єднанням нечітких множин для споживачів ряду ТП 10(6)/0,4 кВ, кожному з яких відносять до окремої з запропонованих груп (табл. 1)

(4)

де  $n$  – кількість ТП 10(6)/0,4 кВ, до яких електроенергія постачається через задану ділянку електричної мережі 10(6) кВ. Результат об'єднання нечітких значень коефіцієнтів форм графіків окремих ТП 10(6)/0,4 кВ знаходиться, як максимум сукупності.

Відмінність обсягів відпуску електроенергії окремим ТП 10(6)/0,4 кВ, враховується введенням вагових коефіцієнтів  $k_{bi}, i = \overline{1, n}$ , за рахунок чого, вираз (4) набуває вигляду

(5)

де  $n$  – кількість ТП, що отримують електроенергію через задану ділянку ЕМ.

Вагові коефіцієнти з (5) визначаються як відношення відпуску електроенергії для окремого ТП  $W_j$  до сумарного відпуску ЕМ  $W_\Sigma$ , тобто  $k_{bj} = W_j/W_\Sigma$ .

Завершальною стадією ідентифікації коефіцієнта форми графіка групового навантаження  $k_{\Sigma\phi}$  є операція дефазифікації нечіткого значення останнього, що виконується за методом „центру тяжіння”, який вирізняється серед інших більшою точністю

(6)

Співставлення результатів обчислювальних та натурних експериментів підтвердило ефективність даного методу для розподільних ЕМ 10(6) кВ. Використання уточнених коефіцієнтів форми для окремих ділянок ЕМ в задачі розрахунку втрат електроенергії в них дозволило зменшити похибку результатів на 3% і більше, в порівнянні з використанням єдиного значення коефіцієнта форми графіка навантаження головної ділянки ЕМ.

Для чисельного аналізу впливу недосконалості інформаційного забезпечення (відсутність вірогідних даних про розподіл електроенергії між окремими ТП, їх графіки навантаження, а також графіки зміни напруги на шинах 10 кВ) на результати розрахунку втрат електроенергії в ЕМ 10(6) кВ  $\Delta W$  запропоновано метод оцінювання ступеня спостережності ЕМ. Він базується на визначенні середньоквадратичної похибки  $\delta_b$ , яка виходячи з розрахункових меж інтервалу невизначеності, відповідає заданій імовірності приналежності розрахункових навантажувальних втрат електроенергії  $\Delta W_p$  до даного інтервалу

(7)

де  $k_i^{\min}$ ,  $U_i^{\min}$  – відповідно, коефіцієнт завантаження трансформаторів та модуль напруги на шинах 10(6) кВ  $i$ -ої ТП, що відповідають мінімуму  $\Delta W_p$ ;  $\cos \phi_i$  – усереднений коефіцієнт потужності для  $i$ -ої ТП;  $k_{\Sigma\phi j}^{\min}$  – коефіцієнт форми графіка групового навантаження  $j$ -ої ділянки ЕМ 10(6) кВ, що досліджується;  $n_\Sigma$  – загальна кількість ТП, що отримують електроенергію з заданої ЕМ;  $m$  – кількість ділянок ліній електропередачі (ЛЕП) ЕМ.

Задача мінімізації втрат електроенергії з (7), за наведеним переліком незалежних змінних, розв'язується за наступних припущень:

– коефіцієнт потужності окремих ТП  $\cos \phi_i$ , що не оснащені вимірювальними засобами АСКОЕ, приймається рівним середньозваженому значенню

8)

де  $S_{\text{ТП}\Sigma}$ ,  $P_{\text{ТП}\Sigma}$  – значення середніх сумарних, відповідно, повної та активної потужностей ТП 10(6) кВ, що приєднані до ЕМ;

– напруга на шинах 10 кВ ТП, яка відповідає мінімуму навантажувальних втрат електроенергії в ЕМ, приймається максимально можливою за технічними обмеженнями, з урахуванням втрати напруги між центром живлення та  $i$ -ою ТП  $\Delta U_{0i}$

$$U_i^{\min} = U_{\text{норм}} - \Delta U_{0i},$$

де  $U_{\text{норм}}$  – найбільша тривало допустима робоча напруга, згідно Правил технічної експлуатації електричних станцій та мереж;

– коефіцієнти форми графіка групового навантаження  $j$ -ої ділянки ЕМ  $k_{\Sigma\Phi j}^{\min}$  приймаються рівними мінімальному значенню одиничного альфа-рівня нечіткої множини, яка отримується за поданим вище методом визначення коефіцієнта форми графіка групового навантаження.

Для розрахунку коефіцієнта завантаження трансформаторів  $i$ -ої ТП 10(6)/0,4 кВ, який буде відповідати мінімуму навантажувальних втрат електроенергії використовується наступний вираз

$$k_i^{\min} = \frac{P_{\text{надх}} - \Delta P_{\text{розр}}}{P_i \left[ r_{0i} \cdot \sum_{j=1}^{n_{\Sigma}} \frac{U_j^2}{r_{0j}} \right]} \cdot U_i^2; \quad k_{i,\min} \leq k_i^{\min} \leq k_{i,\max}, \quad (9)$$

де  $P_{\text{надх}}$  – середнє значення активної потужності, розраховане, виходячи з відпуску електроенергії з шин 10(6) кВ ТП 110/35/10(6) кВ;  $\Delta P_{\text{розр}}$  – розрахункове значення втрат активної потужності в ЕМ у режимі середніх навантажень;  $U_i$ ,  $P_i$  – відповідно, модуль напруги та значення сукупної активної потужності увімкнених трансформаторів  $i$ -ої ТП;  $r_{0i}$ ,  $r_{0j}$  – активні опори еквівалентних ділянок, що пов'язують центр живлення ЕМ з  $i$ -ою та  $j$ -ою ТП, відповідно;  $k_{i,\min}$ ,  $k_{i,\max}$  – граничні значення коефіцієнта завантаження трансформаторів  $i$ -ої ТП, що приймаються з досвіду її експлуатації.

Для розрахунку опорів  $r_{0i}$  виконується попереднє еквівалентування ЕМ розімкненої конфігурації, яку має переважна більшість мереж 10(6) кВ, до радіального вигляду, шляхом перетворення за режимними параметрами

$$z_{0k} = (\underline{U}_0 - \underline{U}_k) / (\sqrt{3} \cdot \underline{I}_k), \quad (10)$$

де  $z_{0k}$  – повний опір еквівалентної ділянки, що з'єднує центр живлення ЕМ та  $k$ -ту ТП;  $\underline{U}_0$  – напруга в центрі живлення ЕМ;  $\underline{U}_k$ ,  $\underline{I}_k$  – відповідно, напруга та струм навантаження  $k$ -ої ТП у режимі середніх навантажень.

За значеннями  $\delta_B$  з (7), оцінюється імовірність визначення навантажувальних втрат електроенергії з необхідною точністю  $\delta_{B3}$  (наприклад,  $\pm 5\%$ ), для чого попередньо розраховується значення параметра  $t_p$ , який показує кількість інтервалів  $\delta_B$  у заданому інтервалі  $\delta_{B3}$

$$t_p = \delta_{B3} / \delta_B. \quad (11)$$

Далі, використовуючи відповідні табличні значення інтегралів Лапласа, або результати їх апроксимації поліномом 5-го порядку

$$p_i = 2 \cdot (0,0001 + 0,3953t_p + 0,0201t_p^2 - 0,1073t_p^3 + 0,037t_p^4 - 0,004t_p^5), \quad (12)$$

визначають імовірність визначення навантажувальних втрат електроенергії  $\Delta W_p$  з заданою точністю  $\delta_{B3}$ .

Для формування інформаційної інфраструктури, що забезпечить задану точність розрахунку навантажувальних втрат електроенергії, в якості критерію оптимальності, запропоновано інтегральний показник  $\chi_{\Delta W}$ , який характеризує імовірність розрахунку навантажувальних втрат електроенергії з необхідною точністю для заданого переліку з  $n_p$  характерних періодів роботи (режимів) електричної мережі

$$\chi_{\Delta W} = \prod_{i=1}^{n_p} p_i. \quad (13)$$

Отже, розроблені методи у сукупності дозволяють не тільки підвищити точність визначення втрат електроенергії в ЕМ 10(6) кВ, але й оцінити якість інформаційного



забезпечення даної задачі та сформувані ефективні напрямки його вдосконалення.

**В третьому розділі** запропоновано метод та алгоритми оптимального розвитку інформаційного забезпечення АСКОЕ на підставі багатокритеріального аналізу, що враховує як технічні, так і економічні аспекти задачі.

Для ефективного розвитку інформаційної інфраструктури АСКОЕ необхідно забезпечити максимально повне виконання покладених на систему функцій, в тому числі, формування структури балансу електроенергії, за рахунок прийнятних ресурсовитрат на її реалізацію. Таким чином, формування напрямків розвитку має виконуватися комплексно, з урахуванням як технічних, так й інших, специфічних для розподілених інформаційних систем, факторів та обмежень. Враховуючи, що для більшості нетехнічних факторів на практиці можуть бути отримані лише якісні оцінки, їх доцільно подавати як нечіткі множини.

Для розв'язання вказаної задачі запропоновано метод, що за рахунок застосування нечіткого багатокритеріального аналізу та теорії ігор дозволяє отримувати оптимальну послідовність фрагментів (фідерів) ЕМ 10(6)/0.4 кВ для впровадження інформаційно-вимірювальних засобів АСКОЕ в умовах обмеженої вірогідності вихідної інформації.

Аналіз ефективності окремих варіантів та вибір остаточного, виконується за сімнадцятьма критеріями (табл. 2), які розбиті на шість груп.

Таблиця 2

### Критерії для аналізу придатності фідерів 10(6) кВ до впровадження інформаційних засобів АСКОЕ та забезпечення їх потенційної ефективності

Міра впливу окремих критеріїв оцінюється на основі експертної інформації. Враховуючи значну кількість критеріїв, пряме формування матриці порівняння їх впливу (розмір 17×17 елементів) є трудомісткою для експерта операцією з низькою вірогідністю кінцевого результату. Для підвищення ефективності даного етапу багатокритеріального аналізу запропоновано та обґрунтовано можливість послідовного визначення вагових коефіцієнтів, коли спочатку проводиться співставлення груп критеріїв з визначенням їх вагових коефіцієнтів  $w_i^r$  ( $i = \overline{1,6}$ , згідно табл. 2), а потім порівняльний аналіз критеріїв окремих груп з оцінюванням ваги  $w_{i,j}^k$  ( $i = \overline{1,6}$ , а  $j = \overline{1,k_i}$ , де  $k_i$  – кількість критеріїв в  $i$ -й групі, причому  $k_i \leq 6$  згідно табл. 2). Вагові коефіцієнти окремих критеріїв  $w_k$  ( $k = \overline{1,17}$ , згідно табл. 2) визначаються як добуток показників міри впливу груп  $w_i^r$  та міри впливу критеріїв у відповідних групах  $w_{i,j}^k$

$$w_k = w_i^r \cdot w_{i,j}^k. \quad (14)$$

Для ранжування фрагментів ЕМ 10(6)/0.4 кВ, з метою визначення послідовності розвитку інформаційного забезпечення АСКОЕ запропоновано використовувати мінімаксий принцип теорії ігор. Матриця ігор для розв'язання задачі має такий вигляд

$$, \quad (15)$$

де  $r_{ij}^{w_j}/c_j$  – експертна оцінка  $i$ -того фрагменту електричної мережі за  $j$ -им критерієм  $c_j$  з урахуванням міри його впливу  $w_j$  на послідовність впровадження вимірювального середовища АСКОЕ;  $n$  – кількість критеріїв аналізу;  $m$  – кількість фрагментів ЕМ 10(6)/0.4 кВ (наприклад, фідерів 10 кВ згідно нормальної схеми з'єднань). Першочергове впровадження вимірювальних засобів та інформаційних каналів АСКОЕ доцільно виконувати для фрагменту ЕМ  $i_{\text{опт}}$ , який характеризується максимальним значенням експертної оцінки, що обрана, як мінімальна серед оцінок по окремих критеріях для даного фрагменту, тобто

$$i = i_{\text{опт}}, \text{ якщо } r_{ij}^{w_j} = \max_{i=1..m} \left[ \min_{j=1..n} (v_{ij}) \right].$$

Після отримання оптимальної послідовності фрагментів ЕМ, необхідно визначити мінімальний перелік точок обліку (ТП 10(6)/0.4 кВ) окремого фрагменту, оснащення яких вимірювальними засобами АСКОЕ буде забезпечувати необхідний ступінь спостережності ЕМ. Розв'язання даної задачі запропоноване на підставі аналізу чутливості інтегрального показника спостережності  $\chi_{\Delta W}$  до зміни об'єму вихідної режимної інформації.

Для ранжування трансформаторних підстанцій фрагменту ЕМ за мірою впливу невизначеності їх параметрів на ступінь спостережності ЕМ  $i$ , відповідно, пріоритетом встановлення вимірювальних засобів АСКОЕ, запропоновано використовувати відносне відхилення інтегрального показника спостережності

$$\delta \chi_{\Delta W}^i = \left| 1 - \chi_{\Delta W}^{(i)} / \chi_{\Delta W_{\text{вим}}}^{(i)} \right|, \quad (16)$$

Для розрахунку  $\chi_{\Delta W_{\text{вим}}}^{(i)}$  в якості коефіцієнтів завантаження трансформаторів  $i$ -ої ТП номінальною потужністю  $S_{\text{ТП}\Sigma, i}^{\text{НОМ}}$ , замість  $k_{i,j}^{\text{мін}}$  для  $j$ -ого характерного режиму (з переліку  $n_p$ ), використовують  $k_{i,j}^{\text{вим}}$ , що розрахований за відомим корисним відпуском  $W_{i,j}^{\text{вим}}$  у  $j$ -ому режимі тривалістю  $T_j$

$$k_{i,j}^{\text{вим}} = W_{i,j}^{\text{вим}} / (T_j \cdot S_{\text{ТП}\Sigma, i}^{\text{НОМ}} \cdot \cos \phi_{i,j}).$$

В результаті розрахунків за (16) кожна ТП отримує ваговий коефіцієнт, що визначає її черговість для встановлення вимірювальних засобів (засобів обліку). Перелік точок обліку, необхідний для забезпечення спостережності заданого фрагменту ЕМ, визначається шляхом послідовного нарощування їх кількості зі співставленням розрахункової похибки  $\delta_B$  (7) з заданою  $\delta_{B3}$  для набору характерних режимів  $n_p$ .

Використовуючи розроблені методи у даному розділі побудовано алгоритми визначення ступеня спостережності ЕМ 10(6) кВ для розрахунку навантажувальних втрат, а також формування оптимальної послідовності впровадження (розвитку) інформаційного забезпечення АСКОЕ з використанням нечіткого багатокритеріального аналізу. Отримані результати, у сукупності, дозволяють забезпечити комплексне підвищення точності визначення навантажувальної складової втрат електроенергії в ЕМ за допомогою обчислювальних засобів, а також вдосконалення інформаційного забезпечення.

**В четвертому розділі** на прикладі реальних ЕМ 10 кВ показана працездатність та ефективність методів і алгоритмів, запропонованих у попередніх розділах. Виконано практичні розрахунки з оцінювання спостережності ЕМ, дослідження впливу повноти вихідних даних на результати розрахунку навантажувальних втрат електроенергії; на підставі багатокритеріального нечіткого аналізу для ЕМ 10 кВ сформовано послідовність впровадження вимірювальних засобів АСКОЕ та показано її ефективність.

Розроблений у попередньому розділі алгоритм визначення ступеня спостережності ЕМ 10(6) кВ був реалізований у вигляді окремого модулю програми розрахунку технічних втрат електроенергії та формування електроощадних заходів «ВТРАТИ-10/0.4», що розробляється на кафедрі електричних станцій і систем Вінницького національного технічного університету. На рис. 1 наведено результати роботи програми з аналізу спостережності для Вінницьких міських ЕМ 10 кВ. З наведеного видно, що наявні вимірювальні засоби з урахуванням їх точності не забезпечують повної спостережності ЕМ (рис. 1, а), оскільки похибка визначення навантажувальних втрат електроенергії становить  $\pm 9.47\%$ , що перевищує інженерну точність  $\pm 5\%$ . Разом з тим, якщо за рахунок організаційно-технічних заходів зменшити похибки фіксації струмів та напруг на шинах 10 кВ живильних ТП з 5 до 2% (рис. 1, б), то максимальна похибка визначення втрат може бути зменшена до 4.21%, що відповідає заданій точності та умовам спостережності ЕМ.

Для окремих фідерів (Ф-155, Ф-167, Ф-177) вказаних заходів недостатньо через

високу чутливість втрат в них до характеру розподілу відпущеної електроенергії. Отже, для забезпечення спостережності зазначених фрагментів ЕМ необхідні додаткові джерела інформації про корисний відпуск ТП 10/0.4 кВ.

Алгоритми оптимізації послідовності розвитку інформаційно-вимірювальної підсистеми АСКОЕ реалізовані у вигляді окремої програми. Її працездатність та ефективність були перевірені на прикладі фрагменту Вінницьких міських ЕМ 10 кВ. Для даних мереж було виконано попереднє оцінювання спостережності (табл. 3), з чого зроблено висновок про необхідність додаткових джерел інформації про відпуск електроенергії. Розміщення вимірювальних комплексів виконувалося двома шляхами: згідно діючих рекомендацій про першочерговість розвитку інформаційно-вимірювальної підсистеми АСКОЕ на базі найбільш енергоємних споживачів, а також використовуючи запропоновані вище алгоритми та програму.

а)

б)

Рис. 1. Результати оцінювання спостережності Вінницьких міських ЕМ 10 кВ

Виконавши ряд розрахунків з імітації встановлення засобів обліку електроенергії на окремих підстанціях 10/0.4 кВ було визначено інтегральні показники спостережності  $\chi_{\Delta W_{\text{ВІМ}}}^{(i)}$  (табл. 3), а також їх відносні відхилення  $\delta\chi_{\Delta W_{\text{ВІМ}}}^{(i)}$ . Відповідно до останніх було оцінено міру впливу інформатизації окремих ТП на спостережність ЕМ, в наслідок чого кожній ТП було присвоєно відповідний порядковий номер (табл. 3).

З результатів оцінювання спостережності ЕМ (табл. 3) видно, що розширення інформаційно-вимірювальної підсистеми АСКОЕ на ТП 10/0.4 кВ, що є першими у своїх фідерах за порядковим номером (значенням вагового коефіцієнту  $\delta\chi_{\Delta W_{\text{ВІМ}}}^{(i)}$ ), у всіх випадках призводить до зменшення похибки визначення втрат електроенергії, а у більшості (для даного прикладу), забезпечує ЕМ відповідного фідера умові досягнення заданої точності ( $\pm 5\%$ ) визначення втрат електроенергії (або,  $\chi_{\Delta W_{\text{ВІМ}}}^{(i)} > 98\%$ ).

Таблиця 3

### Результати ранжування ТП 10/0.4 кВ за впливом їх оснащення засобами обліку АСКОЕ на спостережність ЕМ 10(6) кВ

В табл. 4 наведені результати оцінювання необхідної кількості вимірювальних засобів АСКОЕ для досягнення заданої точності визначення навантажувальних втрат, у випадку розвитку системи згідно описаних вище шляхів. З результатів видно, що запропонований метод оптимізації послідовності впровадження вимірювальних засобів дозволяє суттєво скоротити їх кількість і, відповідно, капітальні затрати на розвиток АСКОЕ.

Таблиця 4

### Результати порівняння ефективності розташування засобів обліку АСКОЕ для фрагменту Вінницьких міських ЕМ 10 кВ

Таким чином, запропоновані в роботі методи та алгоритми оцінювання коефіцієнтів форми групового навантаження, аналізу спостережності ЕМ, а також оптимізації розвитку інформаційного забезпечення АСКОЕ можуть бути ефективно використані для підвищення точності визначення навантажувальних втрат електроенергії обчислювальними та вимірювальними засобами.

## ВИСНОВКИ

У роботі наведено нове вирішення актуальної науково-технічної задачі підвищення точності визначення втрат електроенергії у розподільних електричних мережах 10(6) кВ з метою їх зменшення, що полягає у розвитку методів розрахунку навантажувальних втрат електроенергії в цих мережах, оцінювання їх ступеня спостережності та розроблення засобів оптимізації розвитку інформаційного забезпечення.

Основні наукові та практичні результати дисертаційної роботи полягають в наступному.

1. За результатами проведеного аналізу передумов впровадження АСКОЕ в розподільних електричних мережах 10(6) кВ визначено, що найбільш дієвим засобом підвищення точності розрахунку навантажувальних втрат електроенергії в таких мережах є використання інформації про режимні параметри з бази даних АСКОЕ, а неврахування характеру споживання електроенергії на окремих ТП може призводити до суттєвого зростання відносної похибки результатів розрахунку.

2. З метою підвищення адекватності розрахунку втрат електроенергії в розподільних мережах 10(6) кВ за середніми навантаженнями споживачів запропоновано метод визначення коефіцієнта форми графіка групового навантаження в умовах часткової невизначеності вихідної інформації, який базується на теорії нечітких множин.

3. Вдосконалено метод визначення ступеня спостережності розподільних мереж 10(6) кВ шляхом розширення переліку впливових параметрів навантаження окремих споживачів та врахування їх взаємовпливу. Вдосконалений метод дозволяє проводити оцінювання ступеня спостережності розподільних електричних мереж 10(6) кВ для окремих варіантів розвитку інформаційної підсистеми АСКОЕ і приймати більш обґрунтовані проектні рішення.

4. Розроблено метод визначення послідовності розвитку інформаційного забезпечення АСКОЕ на основі нечіткого багатокритеріального аналізу. Використання даного методу, у поєднанні з розробленим алгоритмом оптимізації місць встановлення засобів вимірювання, дозволить підвищити ефективність АСКОЕ з огляду на точність розрахунку навантажувальних втрат, а також адекватність формування балансу електроенергії в мережах 10(6) кВ.

5. Розроблено алгоритм оцінювання інтервалу невизначеності навантажувальних втрат електроенергії в розподільних мережах 10(6) кВ з урахуванням впливу інформаційних засобів АСКОЕ, що дозволяє враховувати наявний рівень похибки розрахунку під час планування заходів по зниженню навантажувальних втрат.

6. На базі отриманих алгоритмів розроблені модуль аналізу вірогідності результатів визначення втрат електроенергії для програми розрахунку технічних втрат електроенергії та формування електроощадних заходів в електричних мережах 10(6)-0,4 кВ «ВТРАТИ-10/0,4», а також програма оптимізації структури вимірювальних засобів АСКОЕ в розподільних мережах 10(6) кВ.

7. Працездатність розроблених програм підтверджена шляхом дослідної експлуатації в ВАТ „АК Вінницяобленерго”, ВАТ „АК Харківобленерго”. Впровадження даних програм дозволило, за рахунок підвищення точності розрахунку навантажувальних втрат електроенергії, а також оцінювання інтервалів їх невизначеності, обґрунтовано скоротити капітальні витрати, пов'язані з впровадженням електроощадних заходів на 20%. Практична реалізація останніх дозволила забезпечити зменшення технічних втрат на 4-9%.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Пискляров Д. С. Підвищення ефективності функціонування АСКОЕ засобами аналізу чутливості / В. В. Кулик, Д. С. Пискляров // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005. – № 6. – С. 130 – 137.

2. Пискляров Д. С. Оцінка вірогідності результатів аналізу втрат електроенергії в розподільних електричних мережах засобами АСКОЕ / В. В. Кулик, Д. С. Пискляров //

Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2006. – Вип. 43. т. 1. – С. 40 – 49.

3. Пискляров Д. С. Вдосконалення інформаційного забезпечення АСКОЕ для розподільних електричних мереж 10(6) кВ / В. В. Кулик, Д. С. Пискляров // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2007. – Вип. 57. т. 2. – С. 30 – 36.

4. Пискляров Д. С. Автоматизація комерційного обліку електроенергії та підвищення її ефективності у розподільних електричних мережах / В. В. Кулик, Д. С. Пискляров // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2008. – № 1. – С. 59 – 64.

5. Пискляров Д. С. Ідентифікація коефіцієнта форми графіка групового навантаження для визначення втрат електроенергії в розподільних мережах / В. В. Кулик, Д. С. Пискляров // Вісник Приазовського державного технічного університету. – 2008. – Вип. № 18. – С. 92–95.

6. Пискляров Д. С. Вдосконалення методики визначення втрат електроенергії в мережах 10(6) кВ засобами теорії нечітких множин / В. М. Кутін, В. В. Кулик, Д. С. Пискляров // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2008. – №5.– С.43 – 49.

7. Пискляров Д. С. Аналіз навантажувальних втрат електроенергії в розподільних мережах 10(6)-0,4 кВ з використанням АСКОЕ / П. Д. Лежнюк, В. В. Кулик, Д. С. Пискляров // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2008. – Вип. 58. т. 2. – С. 40 – 45.

8. Пискляров Д. С. Автоматизація розрахунку втрат електроенергії в розподільних мережах 10(6) кВ [Електронний ресурс] / В. М. Кутін, В. В. Кулик, Д. С. Пискляров, О. В. Лонська // Наукові праці ВНТУ – 2008. – № 3. – С. 1 – 7. – Режим доступу до журналу: <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2008-3/2008-3.htm>.

9. Пискляров Д. С. Аналіз вірогідності результатів визначення втрат електроенергії в розподільних електричних мережах 10(6) кВ із застосуванням радіальних еквівалентів / В. В. Кулик, Д. С. Пискляров // Проблеми математичного моделювання: міжнародна науково-методична конференція, 23 – 25 травня 2007 р.: тези доповідей. – Дніпродзержинськ, 2007. – С. 90 – 91.

10. Пискляров Д. С. Формування інформаційного забезпечення АСКОЕ з урахуванням вимог ефективності аналізу втрат електроенергії в розподільних мережах 10(6) кВ / В. М. Кутін, В. В. Кулик, Д. С. Пискляров // Контроль і управління в складних системах: міжнародна науково-методична конференція, 23 – 25 жовтня 2008 р.: тези доповідей. – Вінниця, 2008. – С. 34 – 35.

## АНОТАЦІЯ

**Пискляров Д. С. Методи та засоби підвищення точності визначення втрат електроенергії в розподільних мережах 10(6) кВ з використанням нечітких множин.** – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.02 – Електричні станції, мережі і системи. – Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2009.

Дисертацію присвячено вирішенню проблеми підвищення ефективності аналізу втрат електроенергії в розподільних мережах 10(6) кВ за рахунок вдосконалення методів визначення навантажувальних втрат, а також підвищення ступеня спостережності вказаних мереж.

З метою вдосконалення методів визначення навантажувальних втрат електроенергії в розподільних мережах 10(6) кВ запропоновано метод визначення коефіцієнта форми графіка групового навантаження, який базується на представленні окремих споживачів у вигляді нечітких множин, а групових споживачів у вигляді їх об'єднання. Використання даного методу для електричних мереж 10 кВ розімкненої конфігурації дозволяє підвищити точність

результатів розрахунку.

З метою підвищення точності розрахунку навантажувальних втрат електроенергії інформаційними засобами запропоновано метод оцінювання ступеня спостережності електричних мереж 10(6) кВ та метод оптимізації послідовності розвитку інформаційного забезпечення АСКОЕ з використанням нечіткого багатокритеріального аналізу. Розроблені методи програмно реалізовані. Використання їх на практиці дозволить підвищити ефективність впровадження АСКОЕ в зазначених ЕМ.

Ключові слова: розподільні електричні мережі 10(6) кВ, втрати електроенергії, спостережність, коефіцієнт форми графіка навантаження, нечіткі множини, нечіткий багатокритеріальний аналіз, теорія ігор.

**Pisklyarov D. S. Methods and facilities for increasing accuracy of electric energy losses determination in the distributive networks of 10(6) kV by means of fuzzy sets. – Manuscript.**

Dissertation for scientific degree of Candidate of Science (Engineering) on specialty 05.14.02 – Electric power stations, networks and systems. – Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 2009.

Dissertation is devoted to the decision of problem of increasing efficiency of electric energy losses analyses in the 10(6) kV distributive networks due to accuracy of variable losses calculations methods, and also increase of degree of these networks observation.

The method of group load graph form coefficient determination is offered, which is based on presentation of individual users load as fuzzy sets, and group users as an unification of individual to improve the methods of variable losses calculation in 10(6) kV distributive networks. The use of this method for the electric network of simple configuration allowed to reduce an error on 3,5 %.

The degree of observation evaluations method and optimum introduction of informative facilities of ASCAE determinations method is offered with the use of fuzzy criterion analysis to increase of observation degree of 10(6) kV distributive networks for the variable electric energy losses calculation. The developed methods are programmatic realized. The use of them in practice will allow considerably to promote efficiency of introduction of ASCAE in the networks of 10(6) kV.

Keywords: distributive networks of 10(6) kV, electric energy losses, observation, fuzzy sets, coefficient of form of chart of loading, analysis of sensitiveness, fuzzy criterion analysis, game theory.

**Пискляров Д. С. Методы и средства повышения точности определения потерь электроэнергии в распределительных сетях 10 (6) кВ с использованием нечетких множеств. – Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции, сети и системы. – Винницкий национальный технический университет, Винница, 2009.

Диссертация посвящена повышению эффективности анализа потерь электроэнергии в распределительных сетях 10(6) кВ за счет усовершенствования методов определения нагрузочных потерь, а также обеспечения наблюдаемости указанных сетей для их расчета.

В работе проведен анализ существующих методов расчета нагрузочных потерь, определены факторы, влияющие на достоверность их результатов, а также рассмотрены основные средства повышения достоверности.

Установлено, что основным средством повышения, как точности расчета нагрузочных потерь, так и наблюдаемости распределительных сетей 10(6) кВ в целом, есть внедрение информационно-измерительных средств АСКУЭ.

Для усовершенствования методов расчета нагрузочных потерь электроэнергии в распределительных сетях 10(6) кВ предложен метод определения коэффициента формы графика групповой нагрузки, который основывается на представлении отдельных потребителей в виде нечетких множеств, а групповых потребителей в виде объединения

нечетких множеств. Использование этого метода для распределительных сетей 10(6) кВ разомкнутой конфигурации позволило снизить относительную погрешность расчета на 3% и более в условиях частичной неопределенности исходной информации о режимных параметрах.

Для определения текущих возможностей информационного обеспечения распределительных сетей 10(6) кВ в задаче расчета нагрузочных потерь электроэнергии, разработан метод оценки уровня их наблюдаемости. В качестве оценки наблюдаемости распределительной сети используется вероятность расчета нагрузочных потерь электроэнергии в ней с заданной точностью. Предложенный метод позволяет учитывать влияние полноты доступной исходной информации о режиме потребления электроэнергии, а также ее точности, на степень наблюдаемости сети, и может быть полезен при внедрении измерительных средств АСКУЭ.

Для обеспечения эффективности АСКУЭ в задачах формирования баланса электроэнергии предложен метод определения оптимальной последовательности развития информационно-измерительной подсистемы. Метод дает возможность ранжировать множество фидеров 10(6) кВ одновременно по 17 критериям средствами минимаксного принципа. Степень влияния каждого критерия на принятие решения определяется его весом, который в работе оценивается методом нечеткого многокритериального анализа. Разработанный метод в сочетании алгоритмом определения мест размещения измерительных средств для обеспечения максимального уровня наблюдаемости сети, дает возможность определить не только оптимальные места установки, но и необходимое количество точек учета.

Разработанные методы программно реализованы и прошли опытную эксплуатацию в ОАО „АК Винницаоблэнерго”, а также ОАО „АК Харьковоблэнерго”. Использование их на практике позволит повысить эффективность разработки энергосберегающих мероприятий, а также внедрения АСКУЭ в сетях 10(6) кВ.

Ключевые слова: распределительные электрические сети 10(6) кВ, потери электроэнергии, наблюдаемость, коэффициент формы графика нагрузки, нечеткие множества, нечеткий многокритериальный анализ, теория игр.

Підписано до друку 22.10.2009 р. Формат 29.7 × 42 ¼

Наклад 100 прим. Зам. № 2009-177

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі

Вінницького національного технічного університету.

м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95. Тел.: 59-81-59