

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

ФЕДОША ДЕНИС ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 621.316.11

**РОЗВИТОК МЕТОДА ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ СИСТЕМ ЦЕХОВОГО
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ РАДІАЛЬНОЇ ТОПОЛОГІЇ**

Спеціальність 05.14.02 – електричні станції, мережі і системи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Вінниця – 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі «Електропостачання промислових підприємств» Запорізького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Заболотний Анатолій Петрович,
Запорізький національний технічний університет,
доцент кафедри електропостачання промислових
підприємств

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Сендерович Геннадій Аркадійович
Національний технічний університет «Харківський
політехнічний інститут», професор кафедри автоматизації
енергосистем

кандидат технічних наук, доцент
Демов Олександр Дмитрович
Вінницький національний технічний університет,
доцент кафедри електротехнічних систем
електроспоживання та енергетичного менеджменту

Захист відбудеться «6» листопада 2015 р. о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 05.052.05 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ГНК, ауд. 210.

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

Автореферат розісланий «5» жовтня 2015 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

В.В. Кулик

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Тенденції зростання тарифів на електричну енергію (ЕЕ) обумовлюють значне збільшення складової вартості втрат ЕЕ в мережах при її передаванні, розподіленні та споживанні. Особливої актуальності це набуває в системах цехового електропостачання (ЦЕС) радіальної топології, що обумовлено їх розгалуженістю та використанням низьких класів напруги.

Втрати ЕЕ при передачі і розподілі поділяються залежно від причин, що їх викликають на комерційні та технічні. У свою чергу технічні втрати поділяють на номінальну і додаткову складові. Додаткова складова втрат ЕЕ обумовлена змінами параметрів режимів роботи ЦЕС та споживачів електроенергії (СЕ) в процесі експлуатації. Номінальна складова втрат електричної енергії (НСВ) визначається умовами роботи ЦЕС при номінальних режимах і оптимальному виборі її параметрів. НСВ формується основними технічними параметрами ЦЕС, які визначаються на етапі її проектування.

Процес проектування полягає у вирішенні окремих задач з метою отримання оптимального проекту в цілому. Існуючі методи дозволяють знайти оптимальні рішення окремих задач проектування, але не гарантують, що сукупність таких рішень створить оптимальне рішення по системі в цілому, чи буде досить близьким до нього. Така ситуація характерна для етапу формування структури ЦЕС, де застосовуються методи, орієнтовані на ручний розрахунок і спрощені математичні моделі, при вирішенні задач вибору: кількості джерел живлення (ДЖ) і місць їх розташування, потужності ДЖ, розподілу споживачів електроенергії за джерелами живлення.

При цьому у вихідні дані кожної із цих задач входять результати вирішення інших, що вносить невизначеність, тому для детермінації необхідне втручання особи, яка приймає рішення (ОПР). У результаті, отримання оптимального рішення по системі в цілому значною мірою залежить від фактору суб'єктивної оцінки ОПР. Крім того, тенденція використання регульованого електроприводу з функцією рекуперації електричної енергії в живильну мережу (ЕПР), як ефективного засобу енергозбереження, створює проблему неузгодженого приєднання розрізаних ЕПР до мережі, що призводить до виникнення перегрівання споживачів електроенергії в ЦЕС і, в свою чергу, до збільшення НСВ.

Фактор втручання ОПР можна виключити за допомогою застосування формальних методів формування структур систем електропостачання (СЕС), використовуючи системний підхід щодо одночасного вирішення вищезгаданих задач формування ЦЕС.

У наукових роботах, присвячених методам формування структури ЦЕС, питання фактору втручання ОПР, системного підходу та одночасного вирішення задач формування ЦЕС залишаються не вирішеними.

Таким чином науково-прикладна задача розроблення і розвитку методів формування структури ЦЕС радіальної топології є актуальною.

Дисертаційне дослідження спрямоване на розвиток існуючого методу пошуку схемних рішень ЦЕС радіальної топології, з мінімальною НСВ і урахуванням впливу ЕПР, для можливості автоматизації формування структури таких систем і як наслідок скорочення термінів проектування.

Зв'язок роботи з науковими програмами та планами. Виконані в роботі дослідження відповідають напрямку «Енергетика та енергоефективність» Закону України від 09.09.2010 №2519-VI «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки», стратегічним пріоритетним напрямом інноваційної діяльності в Україні на 2003-2013 роки «Новітні ресурсозберігаючі технології», Закону України від 16.01.2003 № 433-IV «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні», спрямованості тематики НДР кафедри «Електропостачання промислових підприємств» Запорізького національного технічного університету та виконані в рамках державної НДР №01716 «Розробка методів оптимізації систем електропостачання з напівпровідниковими перетворювачами і ЕТУ», розділ «Розробка метода автоматизованого формування структури систем електропостачання» (номер держ. реєстрації. 0109 U 007668).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є мінімізація втрат електричної енергії в системах промислового електропостачання, що допускають рекуперацію електричної енергії споживачами в живильну мережу, на етапі формування структури системи цехового електропостачання при проектуванні шляхом удосконалення методу формування структури системи цехового електропостачання.

Відповідно до вказаної мети, в роботі розв'язуються такі **основні задачі**:

- аналіз задач проектування систем електропостачання, які формують структуру систем цехового електропостачання;
- аналіз існуючих методів формування структури систем цехового електропостачання;
- удосконалення існуючого методу потенційної функції навантажень формування структури цехового електропостачання;
- визначення параметру приналежності споживачів електроенергії до джерела живлення, що виключає втручання особи, що приймає рішення, для формалізації процесу формування груп споживачів електроенергії;
- розроблення способу визначення потужності силового трансформатора джерела живлення при недетермінованій групі споживачів електроенергії;
- визначення впливу регульованого електропривода з функцією рекуперації електричної енергії в живильну мережу на номінальну складову втрат електроенергії в системі цехового електропостачання;
- удосконалення методу формування структури систем цехового електропостачання радіальної топології для формування структури ділянок мережі з силовими пунктами і наявністю регульованого електроприводу з функцією рекуперації електричної енергії в живильну мережу;
- розроблення програмно-алгоритмічного забезпечення удосконаленого методу для експериментальної перевірки.

Об'єкт дослідження – проектування систем цехового електропостачання радіальної топології.

Предмет дослідження – процес формування структури систем цехового електропостачання радіальної топології.

Методи дослідження. Науково-методичну основу виконаних досліджень становлять: методи теоретичних засад електротехніки для створення математичних

моделей; чисельні методи та методи матричного обчислення для вирішення рівнянь математичних моделей; методи апроксимації та інтерполяції для забезпечення стійкості ітераційних процесів; рекурсивні методи теорії комбінаторної оптимізації для знаходження потужності джерел живлення.

Наукова новизна отриманих результатів порівняно з існуючими роботами за цією проблемою визначається таким:

1. Вперше на основі методу потенційних функцій навантажень запропонована нова формалізація задач формування структури системи цехового електропостачання радіальної топології, яка допускає рекуперацію електричної енергії споживачами в живильну мережу. Це виключає втручання особи, яка приймає рішення у процесі проектування та дає можливість отримати структуру цехової електричної мережі з меншою номінальною складовою втрат електроенергії.

2. Запропоновано новий спосіб визначення потужності силового трансформатора джерела живлення для недетермінованої групи споживачів електроенергії, який ґрунтується на оптимізації показників енергоефективності джерела живлення.

3. Отримав подальший розвиток метод потенційних функцій навантажень для формування структури системи цехового електропостачання радіальної топології в частині застосування нових критеріїв формування груп споживачів електроенергії, чим забезпечується можливість використання методу для систем цехового електропостачання, що містять електроприймачі з рекуперацією електроенергії в мережу живлення.

Практичне значення результатів роботи полягає в тому, що вдосконалений метод формування структури системи цехового електропостачання дозволяє автоматизувати її побудову, знизити вплив суб'єктивної оцінки особи, що приймає рішення, і зменшити терміни проектування.

Результати досліджень, виконаних у дисертаційній роботі, мають практичну цінність для електротехнічних відділів проектних установ.

Реалізацію результатів роботи здійснено як елемент інженерних методик попереднього розрахунку в електротехнічному відділі на державному підприємстві «Державний інститут по проектуванню промислових підприємств» (ДП «ДІПроПром») (довідка про впровадження від 20.12.2013 р.).

Результати роботи використовуються у Запорізькому національному технічному університеті на кафедрі «Електропостачання промислових підприємств» (довідка про впровадження від 20.12.2013 р.), а також на кафедрі «Електропостачання» Інституту енергозбереження та енергоменеджмента національного технічного університету «Київський політехнічний інститут» для підготовки магістрів за спеціальністю 8.090603 «Електротехнічні системи електроспоживання» (довідка про впровадження від 20.03.2015 р.).

Особистий внесок здобувача. Основні результати дисертаційної роботи, що виносяться на захист, отримано автором самостійно на основі вивчення, аналізу та узагальнення матеріалу. Особистий внесок здобувача в роботах, опублікованих у співавторстві, такий: [2, 13, 16] – аналіз критеріїв відбору споживачів електроенергії в групи джерел живлення; [11, 16] – дослідження шляхів удосконалення методів визначення кількості джерел живлення та місця їх розташування; [3, 5, 18] – для

методу потенційних функцій навантажень формування структури системи цехового електропостачання радіальної топології запропоновано інший критерій відбору споживачів електроенергії в групи джерел живлення; [5, 6, 9, 18] – запропоновано використання коефіцієнта, що враховує очікувані втрати в лініях живлення; [14, 15, 19] – запропоновано новий метод визначення потужності силового трансформатора ДЖ; [10] – запропоновано спосіб формування рівня силових пунктів; [7, 8, 12, 15] – запропоновано спосіб урахування впливу споживачів з рекуперацією електричної енергії на структуру системи цехового електропостачання.

Результати досліджень, що викладені у [1–19], були отримані у Запорізькому національному технічному університеті.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації доповідалися, обговорювалися й одержали схвалення на: Всеукраїнській науково-технічній конференції молодих учених і спеціалістів «Електромеханічні системи, методи моделювання та оптимізації» (м. Кременчук, 2007, 2008 рр.); Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми энергообеспечения предприятий АПК и сельских территорий» (м. Санкт-Петербург, 2008 р.); 2-й Міжнародній науково-технічній конференції «Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах» (м. Луцьк, 2008 р.); 6-й Міжнародній науково-технічній конференції «Математичне моделювання в електротехніці й електроенергетиці» (м. Львів, 2009 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми енергозбереження в агропромисловій та природоохоронній сферах» (м. Київ, 2010 р.); 5-й, 6-й Міжнародних науково-технічних конференціях «Керування режимами роботи об'єктів електричних та електромеханічних систем» (м. Донецьк, 2011, 2013 рр.); 18-й Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми автоматизованого електропривода» (м. Одеса, 2011 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми энергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» (м. Харків, 2011 р.); Всеукраїнській науково-технічній конференції викладачів, аспірантів і студентів «Сучасні проблеми систем електропостачання промислових та побутових об'єктів» (м. Донецьк, 2012 р.); 1-й Міжнародній науково-технічній конференції «Современные проблемы электроэнергетики. Алтай – 2013» (м. Барнаул, 2013 р.); Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании» (м. Одеса 2013 р.); науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу, аспірантів та студентів ЗНТУ, м. Запоріжжя, 2008-2014 рр.

Публікації. Основні результати дисертації опубліковано у 19 друкованих працях. З них 10 – у спеціалізованих фахових виданнях, 2 зарубіжні публікації, 2 патенти України на корисну модель, та 5 тез і матеріалів конференцій.

Обсяг і структура роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків. Основана частина дисертації викладена на 130 сторінках машинописного тексту, містить 49 рисунків, 12 таблиць, список використаних джерел з 158 найменувань. Додаток викладений на 25 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету й основні задачі досліджень, наведено наукову новизну і практичну цінність отриманих результатів, кількість публікацій за темою та особистий внесок автора.

У першому розділі визначені задачі, які вирішуються при формуванні структури ЦЕС з мінімальною НСВ та проведено їх аналіз, а також проведено огляд існуючих методів формування структури ЦЕС.

Для оцінювання ефективності систем електропостачання промислових підприємств (СЕР) щодо забезпечення СЕ електричною енергією застосовується балансовий метод. Однією зі складових балансу є НСВ, яка у загальному вигляді може бути представлена виразом:

$$\Delta W_{СЕР} = \Delta W_{ЦМ} + \Delta W_{ТП} + \Delta W_{РЕМ} + \Delta W_{ЖЕМ} + \Delta W_{ДЖП}, \quad (1)$$

де $\Delta W_{ЦМ}$ – втрати ЕЕ в цеховій електричній мережі; $\Delta W_{ТП}$ – втрати ЕЕ в цехових трансформаторних підстанціях (ТП); $\Delta W_{РЕМ}$ – втрати ЕЕ в розподільній мережі підприємства; $\Delta W_{ЖЕМ}$ – втрати ЕЕ в мережі живлення підприємства; $\Delta W_{ДЖП}$ – втрати ЕЕ в джерелі живлення підприємства.

Особливе значення НСВ набуває при формуванні структури ЦЕС радіальної топології, що зумовлено їх численністю і протяжністю, а також використанням низьких класів напруги.

Для пошуку оптимальних вирішень задачі формування структури ЦЕС з мінімальною НСВ останнього часу набули широкого поширення математичні моделі, засновані на принципах структурної та параметричної оптимізації СЕР. У загальному вигляді цільова функція мінімізації НСВ в ЦЕС радіальної топології для таких математичних моделей може бути представлена виразом:

$$\begin{aligned} \Delta W_{ЦЕС} &= \Delta W_{ЦС} + \Delta W_{ТП} = \\ &= \sum_j^M \sum_i^N \left(\left(\frac{P_i^2 + Q_i^2}{U_{номЦЕС}^2} \cdot \frac{1}{\gamma_i \cdot s_i \cdot n_i} \cdot \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \cdot \tau_i \right) \cdot 10^{-3} \right) \cdot X_{ij} + \\ &+ \sum_t^T \sum_j^M \left(m_j \cdot P_{x_{jt}} \cdot T_{вj} + P_{k_{jt}} \cdot \frac{P_j^2 + (Q_j - Q_{HKУj})^2}{(m_j \cdot S_{НОМt})^2} \cdot \tau_j \right) \cdot T_{jt} \rightarrow \min, \end{aligned} \quad (2)$$

де $\Delta W_{ЦЕС}$ – НСВ в ЦЕС; $\Delta W_{ЦС}$ – НСВ у мережі ЦЕС; $\Delta W_{ТП}$ – НСВ у ТП ЦЕС; M – кількість ТП; N – кількість СЕ; P_i , Q_i – активна і реактивна потужність i -ого СЕ; $U_{номЦЕС}$ – номінальна напруга ЦЕС; γ_i – питома провідність матеріалу жили провідника ділянки мережі від i -ого СЕ; s_i – перетин провідника ділянки мережі від i -ого СЕ; n_i – кількість ниток провідника ділянки мережі від i -ого СЕ; $\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$ – метрика i -ого СЕ і j -ої ТП; τ_i – число годин максимуму

втрат для j -ої ТП і i -ого СЕ; X_{ij} – булева змінна, що характеризує зв'язок i -ого СЕ з j -ої ТП; T – кількість номенклатурних виконань трансформаторів, допустимих до розгляду; m_j – кількість трансформаторів на ТП; $P_{x_{jt}}$ – втрати холостого ходу в трансформаторах ТП j -ої ТП t -ого виконання; $T_{вj}$ – тривалість включення

розглянутої ТП; $P_{\kappa_{jt}}$ – номінальні втрати потужності в обмотках трансформатора j -ої ТП t -ого виконання; P_j , Q_j – активна і реактивна потужність j -ої ТП; $Q_{\text{НКУ}j}$ – потужність низьковольтних компенсуючих пристроїв j -ої ТП; T_{jt} – булева змінна, що характеризує наявність трансформатора на j -ої ТП деякої номінальної потужності $S_{\text{НОМ}i}$; τ_j – число годин максимуму втрат для j -ої ТП і i -ого СЕ.

Параметри, що входять до виразу (2), показують, що на НСВ в ЦЕС, при заданій кількості СЕ, їх розрахункової потужності і місць розташування в цеху, визначальний вплив мають: клас живильної напруги, перетин і матеріал провідника, кількість ТП, місця розміщення ТП, потужності ТП, розподіл СЕ по ТП.

Таким чином для отримання варіанту структури ЦЕС з мінімальним значенням НСВ необхідно знайти спільне рішення, на основі системного підходу, трьох взаємопов'язаних задач формування структури ЦЕС: визначення числа ДЖ та місць їх розміщення, вибір потужності трансформатора ДЖ, розподіл СЕ за джерелами живлення. При цьому, наявність у вихідних даних кожної з цих задач результатів розв'язання інших, вносить фактор невизначеності, який вимагає втручання ОПР, що необхідно враховувати при виборі методу формування структури ЦЕС.

Існуючі способи формування структури ЦЕС ґрунтуються на повному переборі та використанні характеристик груп СЕ, зв'язують їх енергетичні та планувальні параметри та дають можливість частково вирішити вказану невизначеність, а в основі пошуку оптимального рішення лежить техніко-економічне порівняння альтернативних варіантів структури ЦЕС, при цьому жоден зі способів не враховує вплив роботи ЕПР на структуру ЦЕС при спільному розв'язанні задач формування структури ЦЕС.

Одним з таких способів є метод потенційних функцій навантаження (ПФН), запропонований А. А. Федоровим та С. В. Садчиковим, який передбачає проведення аналогії між навантаженнями СЕ – P_i , розміщених у точках з координатами $(x_i; y_i)$, і потенціалами деяких джерел енергії, розміщених у тих же точках. При переході в будь-яку іншу точку $(X; Y)$ потенціали їх знижуються, ступінь зниження потенціалів залежить від значення коефіцієнту контрастності потенційної поверхні (ККРПП) α , який задається ОПР. Значення потенціалів визначаються ПФН, сума значень яких формує потенційну поверхню:

$$П(X, Y) = \sum_{i=1}^n P_i \cdot \exp\left(-1 \cdot \alpha \cdot \rho((X; Y), (x_i; y_i))^2\right), \quad (3)$$

де n – кількість СЕ; P_i – навантаження СЕ; α – ККРПП; ρ – метрика відстані; $(x_i; y_i)$ – координати розміщення i -ого СЕ.

На цій поверхні визначають екіпотенціальні контури, які поділяють задану множину СЕ на групи, а вершини графіка функції потенційної поверхні всередині екіпотенціальних контурів визначають області розташування вузлів навантажень в цих групах.

Такий підхід є системним і дозволяє сформуванню структури ЦЕС радіальної топології, одночасно визначаючи число ДЖ і розподіл СЕ за джерелами живлення, а значить, усуває фактор невизначеності при вирішенні цих задач проектування.

Проведений огляд вказує на необхідність удосконалення методу ПФН формування структури ЦЕС радіальної топології та формує задачі дослідження.

У другому розділі отримав подальший розвиток метод ПФН для формування структури ЦЕС радіальної топології щодо реалізації одночасного вирішення трьох взаємопов'язаних задач (визначення числа ДЖ і місць їх розміщення, вибір потужності трансформатора ДЖ, розподіл споживачів електроенергії за джерелами живлення) та виключення впливу ОПР.

Результати проведеного чисельного експерименту показують, що число груп, на які поділяється множина СЕ еквіпотенціальними контурами, залежить від значення ККРПП α (рис. 1). Ця залежність має нелінійний експонентний характер, при цьому динамічний діапазон значень ККРПП зростає в області значної зміни числа вершин на потенційній поверхні, що підвищує складність визначення оптимального значення ККРПП для досягнення прийнятної кількості вершин, а значить, і числа джерел живлення.

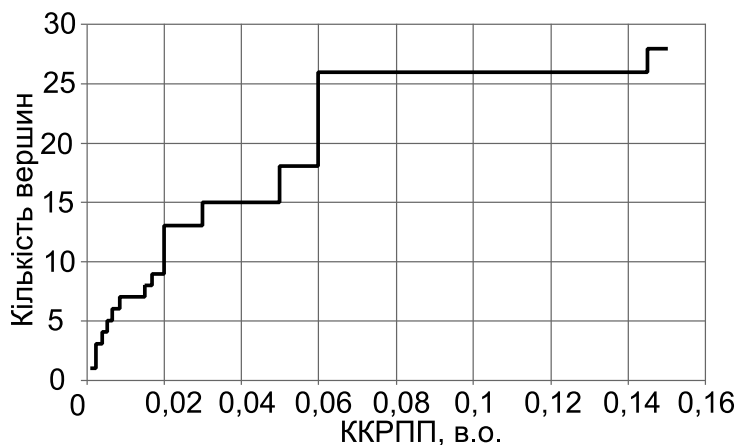


Рисунок 1 – Залежність кількості вершин потенційної поверхні від значення величини ККРПП

Це обумовлено тим, що в методі ПФН процедура вибору величини ККРПП не формалізована, і вибір його чисельного значення повністю залежить від досвіду і навичок ОПР. Для формалізації процедури вибору значення величини ККРПП запропоновано наступне.

По-перше, надати ККРПП властивість обліку очікуваних втрат електричної енергії в живильних лініях, які, в свою чергу, залежать від споживаної СЕ потужності, величини живильної напруги і провідникового матеріалу лінії (рис. 2):

$$\alpha = \alpha_{\Delta P} = \frac{P^2}{U^2 \cdot F(I_{max}) \cdot \gamma \cdot \cos^2 \varphi}, \quad (4)$$

де: γ – питома провідність матеріалу провідника; P – потужність СЕ; $F(I_{max})$ – переріз провідника; I_{max} – максимальний робочий струм у лінії живлення СЕ; $\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності СЕ; U – номінальна напруга лінії, кВ.

По-друге, запропоновано перехід до відносних одиниць при визначенні значення ККРПП, де за базисні величини прийнято максимальне значення ККРПП СЕ певного цеху – α_m та максимальна відстань між двома СЕ будь-якої потужності на плані цеху – L_m .

У результаті вираз, що формує потенційну поверхню (3), прийме вигляд:

$$P(x, y) = \sum_{i=1}^n P_i \cdot \exp \left(-1 \cdot \frac{P_i^2}{U^2 F(\text{Im } ax_i) \cdot \gamma \cdot \cos^2 \varphi_i} \cdot \frac{1}{L_m \cdot \alpha_m} \cdot \rho((X; Y), (x_i; y_i))^2 \right). \quad (5)$$

Вираз (5) формує потенційну поверхню, кількість і координати вершин (локальні максимуми функції) якої і визначають число і місце розташування джерел живлення, яке відповідає мінімізованому значенню НСВ у мережі. Отримане рішення залежить виключно від вихідної інформації (потужності СЕ та їх взаємного розташування) і виключає вплив ОПР, що дає можливість застосувати такий підхід у методі ПФН з метою формалізації процесу формування структури ЦЕС.

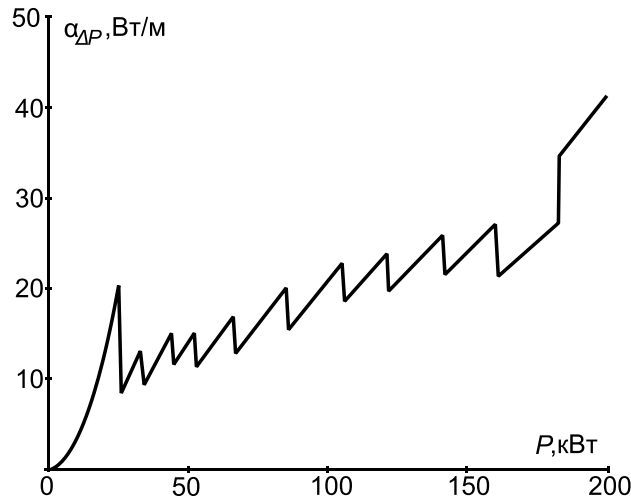


Рисунок 2 – Залежність значень величини ККРПП від потужності СЕ

Іншою проблемою методу ПФН є те, що спосіб формування груп СЕ не завжди дає однозначну відповідь щодо питання належності СЕ до групи ДЖ.

Оскільки ступінь зниження потенціалів пропорційний втраті ЕЕ в лінії мережі, то порівнюючи значення функції навантажень окремого споживача електроенергії у двох точках, можна визначити, який варіант схемного рішення буде мати менші втрати потужності при здійсненні живлення з ДЖ, встановленого в цих точках. Використовуючи цю властивість, можливо формалізувати процедуру групування СЕ за допомогою оцінки частки участі кожного зі споживачів електроенергії у формуванні кожного з максимумів потенційної поверхні. Тому запропонована процедура «потенційний» критерій відбору (ПКО), яка здійснює ранжування отриманих значень ПФН для такого СЕ щодо координат кожного локального максимуму:

$$PM'(ni, ki) = \frac{P_{ni} \cdot \exp \left(-1 \cdot \alpha'_{\Delta P}(ni) \cdot \rho((X_{ki}; Y_{ki}), (x_{ni}; y_{ni}))^2 \right)}{P_{ni} \cdot \exp \left(-1 \cdot \alpha'_{\Delta P}(ni) \cdot \rho((X_g; Y_g), (x_{ni}; y_{ni}))^2 \right)}, \quad (6)$$

де $ni \in n$ – СЕ; n – множина СЕ; $ki \in 1 \dots k$ – номер локального максимуму; k – число локальних максимумів; g – глобальний максимум; $\alpha'_{\Delta P}(ni)$ – ККРПП у відносних одиницях.

ПКО за отриманими ранжованими значеннями, однозначно визначає належність споживача електроенергії до групи джерела живлення, який буде встановлений у точці локального максимуму потенційної поверхні – «потенційна група» (ПГ):

$$\Pi\Gamma_{ki} := \{ni | \Pi M'(ni, ki) \leq 1\} \quad (7)$$

Для формалізації вибору потужності трансформатора ДЖ у розділі 2 запропоновано процедуру «технічний» критерій відбору (ТКО) СЕ, в основу якого покладено новий спосіб визначення потужності трансформатора при недетермінованій групі СЕ.

Спосіб полягає в тому, що спочатку для кожного стандартного значення потужності трансформатора визначається сукупність споживачів електроенергії з попередньої групи, сформованої за умовами мінімальних втрат у мережі, які зможуть оптимально завантажити трансформатор і проводиться розрахунок значення його коефіцієнта корисної дії. Потім на основі оцінки отриманих значень коефіцієнтів корисної дії здійснюється вибір трансформатора і фіксується склад групи споживачів електроенергії, підключених до нього. На цей спосіб отримано патент України.

Цільова функція визначення потужності трансформаторів має вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{(Sp(WX) \cdot Tm) - \left(m \cdot Px_t \cdot T\theta + P\kappa_t \cdot \frac{Sp(WX)^2}{m \cdot ST_t^2} \cdot \tau \right)}{Sp(WX) \cdot Tm} \rightarrow \max \\ \sum_{ni \in \Pi\Gamma_{ki}} \Pi'(ni, ki) \cdot WX_{ni} \rightarrow \max \\ Sp(WX) \leq kzn \cdot ST_t \\ Sp(WX) < kzn \cdot ST_t \\ t \in T \end{array} \right. , \quad (8)$$

де WX – булева матриця, ознака належності СЕ до групи; $Sp(WX)$ – функція визначення розрахункової повної потужності групи СЕ відомим методом; kzn – номінальний коефіцієнт завантаження трансформатора; kzn – коефіцієнт допустимого перевантаження трансформатора в післяаварійному режимі; ST – номінальна потужність трансформатора; Tm – кількість годин використання максимального навантаження; T – номенклатурний ряд трансформаторів.

Комбінаторна оптимізація цільової функції (8) дозволяє визначити групу СЕ (WX), для якої існує такий трансформатор (t), який би забезпечував максимальний коефіцієнт корисної дії ДЖ.

Наведені в розділі 2 процедури визначення числа ДЖ та їх координат, розподіл СЕ за джерелами живлення, визначення потужності трансформатора ДЖ дозволяють формалізувати процес формування структури ЦЕС радіальної топології. Ця формалізація дозволила удосконалити метод ПФН за допомогою введення двох процедур формування груп СЕ, які здійснюють послідовний відбір СЕ доти, поки існують СЕ, що не отримали своє джерело живлення, при цьому здійснюється одночасне вирішення трьох взаємопов'язаних задач та виключається вплив ОПР. Структура вдосконаленого методу ПФН наведена на рис 3.

Ілюстрація однієї ітерації роботи вдосконаленого методу ПФН наведена на рис. 4.

Кроки ітерації повторюються до тих пір, поки всі СЕ не будуть розподілені на групи за джерелами живлення і не будуть визначені координати установки ДЖ і потужності їх трансформаторів.

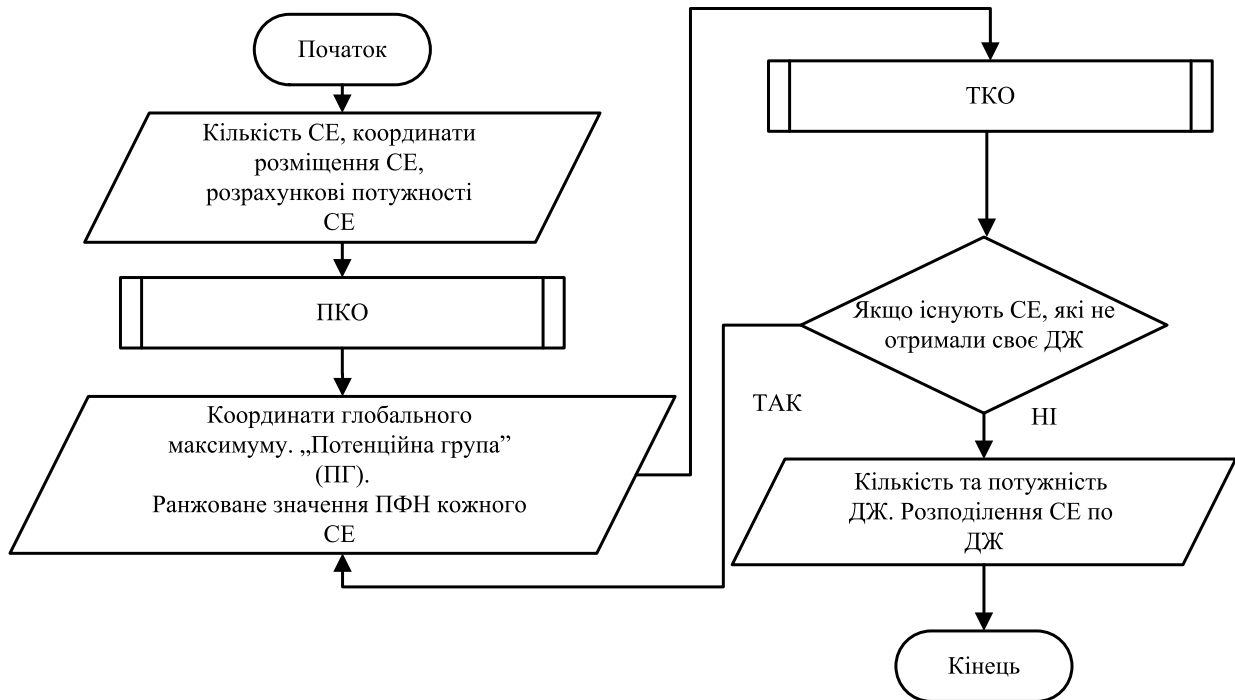


Рисунок 3 – Структура вдосконаленого методу ПФН

У третьому розділі роботи розглянуті питання формування силових пунктів (СП) в ділянках ЦЕС радіальної топології, в тому числі і за наявності ЕПР, та запропоновано спосіб уточнення координат установки силових пунктів для ділянок ЦЕС, що містять ЕПР у вдосконаленому методі ПФН.

Показано можливість використання вдосконаленого методу ПФН для формування рівня силових пунктів у структурі ЦЕС. Для цього до методу введені додаткова процедура ПКО та процедура оцінки доцільності встановлення силових пунктів (СПО) у локальній ділянці ЦЕС. При цьому рівень силового пункту формується у вже сформованих за ТКО групах споживачів електроенергії, що дозволяє суттєво скоротити кількість варіантів схемних рішень, що розглядаються СПО.

СПО здійснює техніко-економічне порівняння двох варіантів (з силовим пунктом та без нього) виконання локальної ділянки ЦЕС. Прийняття варіанту ділянки ЦЕС з силовим пунктом, здійснюється при виконанні умови:

$$C_{PIB} + C_M + C_{PB} + C_{Bi} + \left(\sum_{i=1}^{np} \Delta W_{Pi}^I + \Delta W_{Pi0}^I \right) \cdot K_{CP} < C_{PB} + C_{Bi} + \sum_{i=1}^{np} \Delta W_{Pi}^{II} \cdot K_{CP}, \quad (9)$$

де C_{PIB} – капітальні вкладення в СП-СЕ лінії; C_M – капітальні вкладення в лінію ДЖ-СП; C_{PB} – капітальні вкладення в СП; C_{Bi} – капітальні вкладення в ДЖ; K_{CP} – коефіцієнт, що враховує пріоритет втрат електричної енергії над капітальними вкладеннями; C_{PB} – капітальні вкладення в розподільну мережу від ДЖ до СЕ; np –

число СЕ підключених до СП; $\Delta W_{\Pi 0}^I$ – величина НСВ лінії ДЖ-СП; $\Delta W_{\Pi i}^I$ – величина НСВ в живильних від СП СЕ лініях; $\Delta W_{\Pi i}^{II}$ – величина НСВ в живильних від ДЖ СЕ лініях.

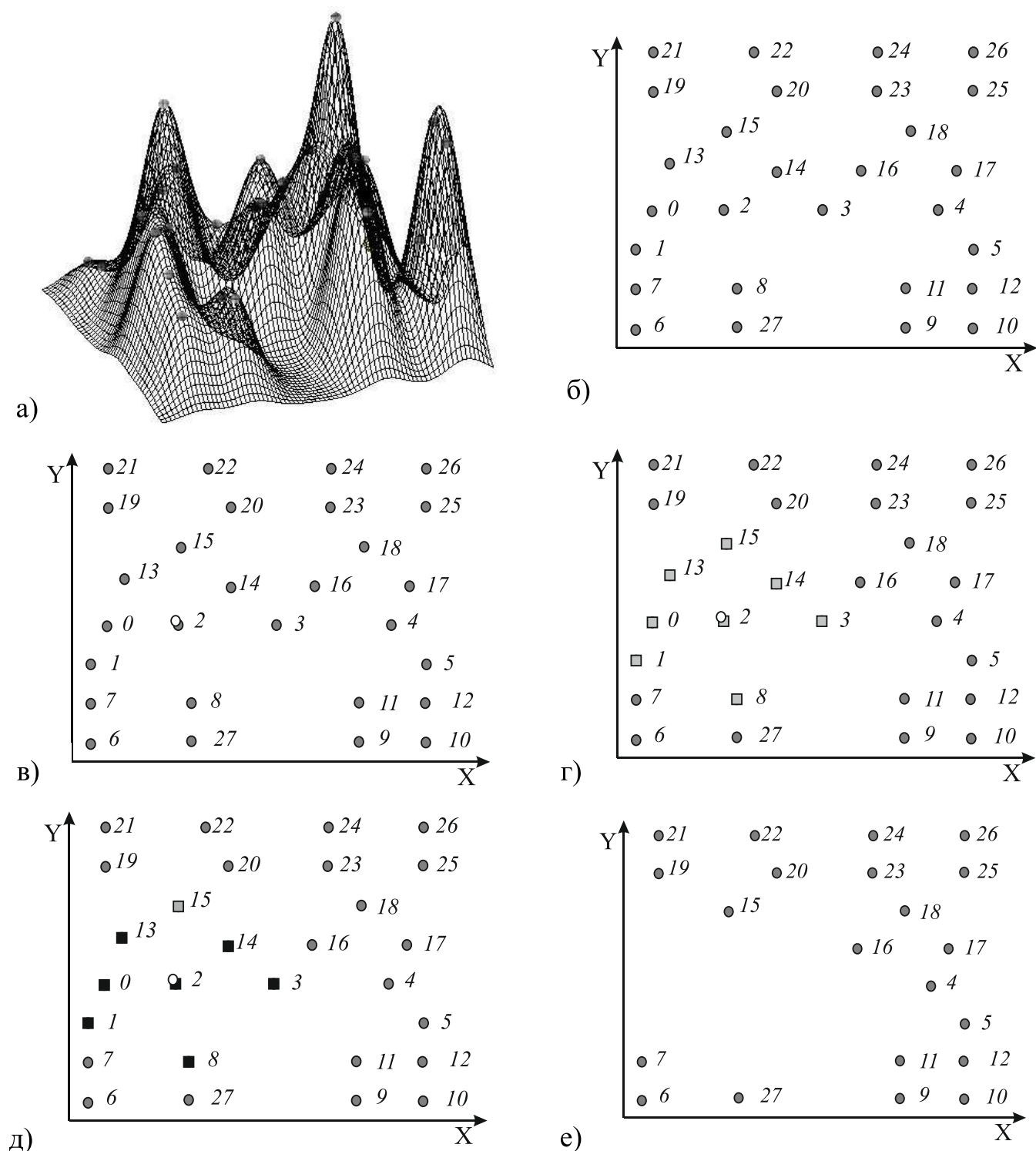


Рисунок 4 – Ілюстрація етапів однієї ітерації алгоритму (● – СЕ, ○ – глобальний максимум, □ – СЕ відібрані за ПКО, ■ – СЕ відібрані за ТКО) а) потенційна поверхня; б) розміщення СЕ на плані цеху; в) визначення координат глобального максимуму потенційної функції; г) група СЕ, сформована процесом ПКО (СЕ з № 0, 1, 2, 3, 8, 13, 14, 15; д) група СЕ, сформована процесом ТКО (СЕ з № 0, 1, 2, 3, 8, 13, 14); е) початок другої ітерації.

У розділі 3 показано, що в разі наявності у складі цехових СЕ ЕПР, в живильній мережі виникають досить складні процеси енергообміну між СЕ. При цьому напрям потоків потужності в живильних ЕПР ділянках мережі змінюється на протилежний, і ця енергія споживається іншими СЕ цієї групи. У результаті величина потужності, переданої по ділянці СП-ДЖ ($\Delta W_{\Pi 0}$), знизиться на величину рекуперованої ЕЕ (до значення $\Delta W'_{\Pi 0}$), що призведе до зниження НСВ уданій ділянці ЦЕС. А величина НСВ в лініях СП-ЕПР збільшиться за рахунок передавання по них рекуперованої ЕЕ. У результаті зміни величина ЕЕ, яка необхідна для живлення СП, визначається виразом:

$$W'_{\Sigma} = \sum_{i \in np} (W_{\Pi i} + \Delta W_{\Pi i}) + \Delta W'_{\Pi 0} - \sum_{j \in nr} (W_{\Pi j}^P - \Delta W_{\Pi j}^P), \quad (10)$$

де np – список СЕ підключених до СП; $W_{\Pi i}$ – величина ЕЕ споживаної i -м СЕ; $\Delta W_{\Pi i}$ – НСВ в лінії, живлять i -й СЕ від СП для випадку односпрямованого потоку передачі ЕЕ; $\Delta W'_{\Pi 0}$ – НСВ в лінії ДЖ-СП з урахуванням зміни процесів енергообміну в режимі рекуперації; nr – список ЕПР підключених до СП ($nr \in np$); $W_{\Pi j}^P$ – величина ЕЕ рекуперованої j -м ЕПР; $\Delta W_{\Pi j}^P$ – величина втрат ЕЕ в лінії, що виникають при передачі ЕЕ рекуперованої j -м ЕПР.

Тоді величина НСВ, споживаної від джерела живлення, в ділянці ЦЕС з силовими пунктами, що містить ЕПР, може бути визначена як:

$$\begin{aligned} \Delta W = & \sum_{i \in np} \Delta W_{\Pi i} - \sum_{i \in np} \frac{\Delta W_{\Pi i}}{W_{\Pi i}} \cdot \sum_{j \in nr} \left(W_{\Pi j}^P \cdot \left(1 - \frac{\Delta W_{\Pi j}}{W_{\Pi j}} \right) \right) + \\ & + \Delta W_{\Pi 0} \cdot \left(1 - \frac{\sum_{j \in nr} \left(W_{\Pi j}^P \cdot \left(1 - \frac{\Delta W_{\Pi j}}{W_{\Pi j}} \right) \right)}{\sum_{i \in np} (W_{\Pi i} + \Delta W_{\Pi i})} \right). \end{aligned} \quad (11)$$

Таким чином при розв'язанні задачі оцінки доцільності встановлення СП та визначенні місць їх встановлення у сформованих групах СЕ, що містять ЕПР, необхідно врахувати не тільки очікувані втрати ЕЕ в живильних СЕ лініях, а й очікувані значення втрат ЕЕ, пов'язаних з процесом рекуперації.

Показано, що врахувати це можливо за допомогою додаткової потенційної поверхні (Π^P), побудованої на основі енергетичних параметрів процесу рекуперації ЕПР. Для цього можна використовувати вираз (5), у якому замість розрахункової потужності споживання i -ого СЕ необхідно підставити величину рекуперованої потужності i -ого ЕПР. У результаті вираз для побудови поверхні рекуперації буде мати вигляд:

$$P^P(x, y) = \sum_{i \in nr} P_{pi}^P \cdot \exp \left(-1 \cdot \frac{P_i^2}{U^2 F(\text{Im} a x_i)} \cdot \gamma \cdot \cos^2 \varphi_i \cdot \frac{1}{L_m \cdot \alpha_m} \cdot \rho((X; Y), (x_i; y_i))^2 \right). \quad (12)$$

Структура вдосконаленого методу ПФН радіальної топології з СП і наявністю ЕПР у складі СЕ цеху наведена на рис. 5.

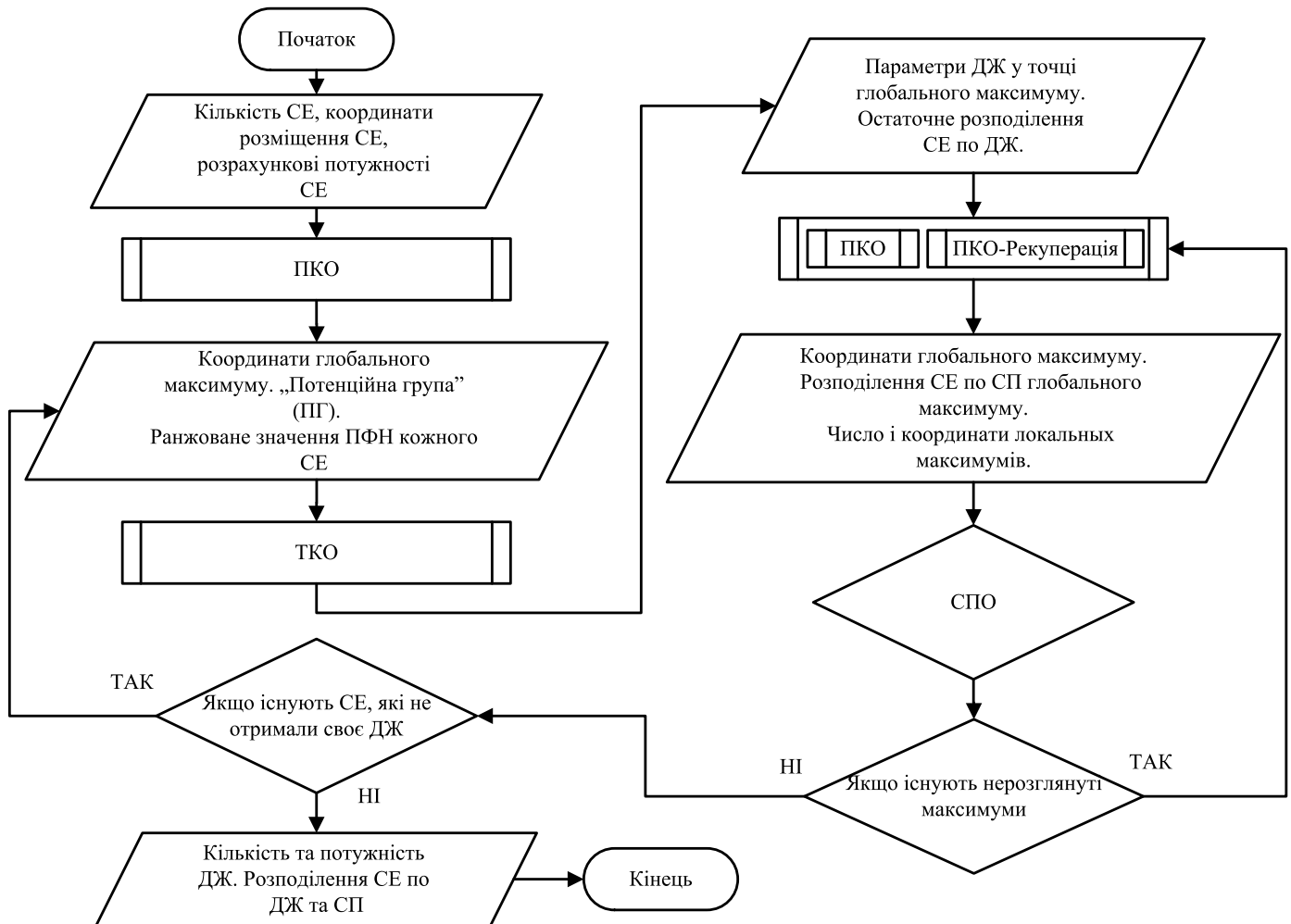


Рисунок 5 – Структура вдосконаленого методу ПФН радіальної топології з СП і наявністю ЕПР у складі СЕ цеху

У четвертому розділі для практичної реалізації та апробації вдосконаленого методу ПФН формування структури ЦЕС радіальної топології з силовими пунктами та споживачами, що можуть рекуперувати електричну енергію в мережу живлення розроблено програмно-алгоритмічне забезпечення.

Удосконалений метод ПФН реалізований програмно на високорівневій мові програмування загального призначення *Python*.

Для роботи з багатовимірними масивами і матрицями застосовано розширення мови *Python* – *NumPy*.

У програмно-алгоритмічній реалізації ПКО для здійснення пошуку локальних екстремумів на потенційній поверхні використаний інструмент оброблення зображень та розпізнавання образів *scikit-image* відкритої бібліотеки наукових інструментів *SciPy*, для мови програмування *Python*.

Комбінаторна оптимізація в програмно-алгоритмічній реалізації ТКО виконана за допомогою відкритої бібліотеки чисельної оптимізації *OpenOpt*, розробленої у відділі оптимізації Інституту кібернетики Національної академії наук України.

У результаті досліджень 20 об'єктів промислових підприємств були отримані усереднені значення величин НСВ і капіталовкладень для структур ЦЕС, сформованих за допомогою інженерних методик, які використовуються у проектних організаціях, та вдосконаленого методу ПФН.

У ЦЕС, сформованих удосконаленим методом ПФН, величина НСВ знизилась на 28%. Це зниження досягається, в першу чергу, за рахунок того, що величина НСВ у трансформаторах ДЖ зменшилася на 20% завдяки узгодженню груп СЕ з потужностями трансформаторів ДЖ, а також за рахунок зниження НСВ у розподільчій і живильній мережах на – 7% і 1% відповідно, що обумовлене зменшенням довжини розподільчої мережі. При цьому в структурі капітальних витрат у ЦЕС, сформованих відповідно до інженерних методик, частка витрат, яка припадає на ДЖ, у середньому становить 50%, а частки витрат на розподільчу і живильну мережі становлять 40% і 10% відповідно.

Під час дослідної експлуатації програмно-алгоритмічної реалізації в електротехнічному відділі державного підприємства «ДІПроПром» встановлено, що скорочення часу на варіантних опрацюваннях і виборі основної схеми становить у середньому 8%, та часу проектування цехів ангарного типу (в одному приміщенні розташовано більше 20 СЕ) – до 12%.

Аналіз отриманих результатів показав, що річні втрати ЕЕ в системі при використанні запропонованого методу знижуються на 28% при збільшенні вартості капітальних вкладень на 20%, тобто зниження річних зведених витрат складає 8%. Це досягається по-перше, зниженням втрат в трансформаторах на 20% за рахунок максимального використання ДЖ в межах одного значення стандартної шкали потужностей, по-друге, за рахунок зниження втрат в розподільчій мережі на 7% внаслідок зменшення довжини більш завантажених ділянок мережі з урахуванням очікуваних втрат, що у загальному випадку призводить до збільшення капітальних витрат на живильну мережу в середньому на 2%, при зниженні витрат на розподільну мережу на 2%, що дає можливість підвищити коефіцієнт корисної дії ЦЕС на 1,5-2%.

ВИСНОВКИ

У роботі отримано нове вирішення актуальної науково-прикладної задачі підвищення енергоефективності систем електропостачання, що полягає в удосконаленні методу формування структури системи цехового електропостачання і дає змогу мінімізувати номінальну складову втрат електричної енергії в системах промислового електропостачання на початковому етапі проектування.

1. Аналіз задач вирішуваних при формуванні структури ЦЕС показав, що для отримання варіанта структури ЦЕС з мінімальним значенням НСВ необхідно знайти оптимальні рішення для кожної з трьох взаємопов'язаних задач (визначення числа ДЖ та місць їх встановлення, вибір потужності ДЖ, розподіл СЕ за джерелами живлення). При цьому, наявність у вихідних даних кожної з цих задач

результатів розв'язання інших, вносить фактор невизначеності, який вимагає втручання ОПР, що необхідно враховувати при виборі методу формування структури ЦЕС. Крім того, жоден з розглянутих методів не враховує вплив роботи ЕПР в режимі рекуперації на структуру ЦЕС.

2. Показано, що метод ПФН формування структури ЦЕС запропонований Федоровим А. А. та Садчиковим С. В., є системним і дозволяє вирішити дві взаємопов'язані задачі формування структури ЦЕС (визначення числа ДЖ, розподіл СЕ за джерелами живлення).

3. Для методу ПФН запропоновано новий формалізований спосіб визначення приналежності СЕ до групи ДЖ, що усуває фактор суб'єктивності ОПР, який заснований на обліку очікуваних втрат електроенергії в методі та оцінці ранжируваних значень ПФН для кожного СЕ щодо кожного локального максимуму як частки участі в його формуванні.

4. Для методу ПФН запропоновано новий формалізований спосіб визначення потужності силового трансформатора ДЖ при недетермінованій групі СЕ, який ґрунтується на комбінаторній оптимізації складу групи СЕ і показників енергоефективності ДЖ.

5. Для методу ПФН запропонований спосіб визначення числа СП і координат їх установки для ділянки ЦЕС, у тому числі, що містить ЕПР.

6. Набув подальшого розвитку метод ПФН для формування структури ЦЕС радіальної топології в частині застосування нових критеріїв формування груп СЕ, що дозволяє реалізувати одночасне вирішення трьох взаємопов'язаних завдань (визначення числа ДЖ і місця їх установки, вибір потужності трансформатора ДЖ, розподіл СЕ за джерелами живлення), чим забезпечується можливість застосування методу для ЦЕС, що містять СП і ЕПР.

7. Для проведення чисельного експерименту і впровадження програмного продукту в навчальний процес здійснена програмно-алгоритмічна реалізація алгоритму удосконаленого методу ПФН формування структури ЦЕС радіальної топології з СП і урахуванням наявності ЕПР у складі СЕ цеху.

8. Апробація програмної реалізації алгоритму удосконаленого методу ПФН показала, що метод дає можливість отримати схемні рішення структури ЦЕС радіальної топології з меншим значенням величини НСВ в середньому на 28%, що підвищує коефіцієнт корисної дії ЦЕС на 1,5-2%.

9. Результати дисертаційної роботи впроваджено в дослідну експлуатацію в електротехнічному відділі державного підприємства «ДІПроПром» (м.Запоріжжя) з метою підвищення якості прийнятих рішень і скорочення термінів проектування, і можуть бути використані науково-дослідними і проектними організаціями, які займаються проектуванням і реконструкцією ЦЕС .

10. Результати дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі на кафедрі «Електропостачання промислових підприємств» Запорізького національного технічного університету та на кафедрі «Електропостачання» Інституту енергозбереження та енергоменеджмента Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» для підготовки магістрів за спеціальністю 8.05070103 «Електротехнічні системи електроспоживання».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Федоша, Д. В. Оптимальное проектирование систем электроснабжения [Текст] // Електротехніка та електроенергетика. – 2012. - № 1. – С. 60-64. – ISSN 1607-6761.
2. Заболотний, А. П. Удосконалений метод потенційної функції для формування оптимальної структури розподільчої мережі [Текст] / А. П. Заболотний, Д. В. Федоша, Н. Л. Криворученко, О. О. Яценко // Електротехніка та електроенергетика. – 2008. – № 1. – С. 74-80. – ISSN 1607-6761.
3. Авдєєв, І. В. Розвиток методу еквіпотенційних контурів для проектування розподільчої мережі [Текст] / І. В. Авдєєв, А. П. Заболотний, Д. В. Федоша [та ін.] // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Тематичний випуск «Електроенергетичні та електромеханічні системи». – 2009. – № 637. – С. 3-7. – ISSN 0321-0499.
4. Заболотний, А. П. Побудова оптимальної структури мережі електропостачання споживачів АПК [Текст] / А. П. Заболотний, Д. В. Федоша, В. С. Мамбаєва // Вісник Харківського національного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Тематичний випуск «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – 2009. – № 86. – С. 41-43. – ISSN 2078-5364.
5. Заболотний, А. П. Алгоритм визначення оптимальної топології розподільчої мережі [Текст] / А. П. Заболотний, Д. В. Федоша, Н. А. Кучерук, А. В. Присяжний // Електротехніка та електроенергетика. – 2010. - № 1. – С. 62-65. – ISSN 1607-6761.
6. Заболотний, А. П. Зниження втрат електроенергії при її передачі та розподіленні [Текст] / А. П. Заболотний, Д. В. Федоша, В. С. Мамбаєва // Інтегровані технології та енергозбереження – 2010. – №3. – С. 18-22. – ISSN 2078-5364.
7. Заболотний, А. П. Побудова структури мереж електропостачання споживачів АПК, що містять джерела «малої генерації» [Текст] / А. П. Заболотний, Д. В. Федоша, Ю. В. Даус // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. Технічні науки. Випуск 116 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків: ХНТУСГ, 2011. – С. 20-21. – ISSN 2078-5364.
8. Заболотний, А. П. Влияние электроприводов с рекуперацией энергии на структуру системы электроснабжения [Текст] / А. П. Заболотний, А. С. Купревич, Д. В. Федоша // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2011. – № 03 (79). – С.402-403. – ISSN 2221-3937.
9. Заболотний, А. П. Формалізація процедури вибору коефіцієнта контрастності рельєфу потенційної поверхні при синтезі структури системи цехового електропостачання [Текст] / А. П. Заболотний, Д. В. Федоша, В. С. Мамбаєва // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія й практика». – 2012. – Випуск 3/2012 (19). С.484-485. – ISSN 2072-2052. – ISSN 2074–9937.
10. Заболотний, А. П. Формирование узлов нагрузки при синтезе структуры ЦЭС радиальной топологии [Текст] / А. П. Заболотний, Д. В. Федоша, А. М. Меньков, В. С. Мамбаєва // Наукові праці донецького національного технічного університету. Серія «Електротехніка і енергетика» – 2013. – №1(14). – С. 96-99. – ISSN 2074-2630.

11. Заболотный, А. П. Построение оптимальной структуры сетей электроснабжения предприятий АПК [Текст] / А. П. Заболотный, Д. В. Федоша, В. С. Мамбаева // Сборник научных трудов международной научно-практической конференции «Проблемы энергообеспечения предприятий АПК и сельских территорий». – Санкт-Петербург: СПбГАУ, 2008. – С. 42-46. – ISSN 0136-5169.

12. Метельский, В. П. Синтез структуры систем цехового электроснабжения радиальной топологии, содержащих электроприёмники с рекуперацией [Текст] / В. П. Метельский, А. П. Заболотный, Д. В. Федоша, Ю. В. Даус // Ползуновский вестник. – № 4-2. – 2013. – С. 143 -147. – ISSN 2672-8821.

13. Авдеев, I. В. Развитие метода потенциальных поверхностей для построения распределительной сети с минимальными коммуникационными потерями [Текст] / I. В. Авдеев, А. П. Заболотный, Д. В. Федоша // Матеріали 2-ї міжнародної науково-технічної конференції «Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах». – Луцьк: ЛНТУ, 2008. – С. 7-10.

14. Заболотный, А. П. Оптимізація структури мереж електропостачання підприємств АПК [Текст] / А. П. Заболотный, О. І. Байша, В. С. Мамбаева, Д. В. Федоша // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми енергозбереження в агропромисловій та природоохоронній сферах». – Київ: НУБІП, 2010. – С. 43-50.

15. Заболотный, А. П. Синтез структуры систем цехового электропостачання. / А. П. Заболотный, Д. В. Федоша [Текст] // Сучасні проблеми систем електропостачання промислових та побутових об'єктів. Збірник наукових праць I Всеукраїнської науково-технічної конференції викладачів, аспірантів і студентів: 18-19 жовтня 2012 р., м. Донецьк. – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2012. – С. 22-23.

16. Заболотный, А. П. Способ формирования структуры систем цехового электроснабжения [Текст] / А. П. Заболотный, Д. В. Федоша. // Сборник научных трудов SWorld. – Выпуск 2. Том 8. – Одесса: КУПРИЕНКО, 2013. – С.86-96. – ISSN 2224-0187.

17. Федоша, Д. В. Формирование узлов загрузки при синтезе структуры ЦЭС содержащей электроприемники с функцией рекуперации [Текст] / Д. В. Федоша // Сучасні проблеми систем електропостачання промислових та побутових об'єктів. Збірник наукових праць I Міжнародної науково-технічної конференції викладачів, аспірантів і студентів: 17-18 жовтня 2013 р., м. Донецьк. – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2013. – С. 98-99.

18. Пат. 61405 Україна. МПК H02J 3/00. Спосіб формування структури радіальної дворівневої мережі [Текст] / I. В. Авдеев, А. П. Заболотный, Д. В. Федоша, В. С. Мамбаева (Україна). – № u201012561 ; заявл. 25.10.2010 ; опубл. 25.07.2011, Бюл. № 14.

19. Пат. 71713 Україна. МПК H02J 3/00. Спосіб формування структури радіальної дворівневої мережі [Текст] / А. П. Заболотный, Д. В. Федоша, В. С. Мамбаева (Україна). – № u201115704 ; заявл. 30.12.2011 ; опубл. 25.07.2012, Бюл. № 14.

АНОТАЦІЯ

Федоса Д.В. Розвиток метода формування структури систем цехового електропостачання радіальної топології. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.02 – електричні станції, мережі і системи. Запорізький національний технічний університет. Запоріжжя, 2014.

Запропоновано спосіб урахування очікуваних втрат електроенергії в живильних лініях у процесі формування структури системи цехового електропостачання, який виключає вплив фактору розкиду потужностей приймачів електричної енергії, а також геометричних розмірів цеху. Показано, що в існуючому методі формування структури системи цехового електропостачання існують невизначеності належності споживачів до вузлів навантаження, що унеможлиблює програмну реалізацію.

Запропоновано спосіб визначення кількості силових пунктів і координат їх установки, що враховує зміну процесів енергообміну в результаті рекуперації електроенергії.

Для формалізації процедури формування структури систем цехового електропостачання був запропонований алгоритм на основі двох розроблених критеріїв відбору приймачів електричної енергії в групі. Перший – для визначення місця розташування джерела живлення і попереднього розподілу приймачів електричної енергії за джерелами живлення, заснований на використанні потенційної поверхні і враховує очікувані втрати електричної енергії в лініях. Другий використовує комбінаторну оптимізацію на основі рекурсивної функції для визначення потужності джерела живлення та переліку приймачів електричної енергії, які будуть живитися від нього.

Ключові слова: система електропостачання, проектування, втрати електричної енергії, рекуперація, цехова електрична мережа, радіальна топологія, джерело живлення, силовий пункт, споживачі електричної енергії.

ABSTRACT

Fedosha D.V. Development of method for forming the structure of the guild electricity radial topology. – The manuscript.

Dissertation for the scientific degree of candidate of technical sciences, specialty 05.14.02 – electric power stations, networks and systems. Zaporizhzhya National Technical University, Zaporizhzhya, 2014.

The method of the expected losses in electricity feeding lines in the formation of the structure of the guild electricity, which excludes the impact factor scatter power receivers of electricity and geometric dimensions shop. It is shown that the existing method of forming the structure of the guild are uncertain electricity supplies to consumers load nodes, making it impossible to software implementation. A method for determining the number of power points and coordinate their installation, taking into account the change processes as a result of energy recovery power generation.

To formalize the procedures of the guild structure of power was proposed algorithm based on selection criteria developed two receivers of electric energy in the

group. First to locate the power source and the receivers prior distribution of electricity for power supplies based on the use of the potential surface and takes into account the expected loss of electricity in the lines. The second uses combinatorial optimization, based on a recursive function for the determination of the power supply and the list of receivers of electric energy to be supplied by him.

Keywords: power system, design, loss of electricity, recuperation, guild electrical network, radial topology, power supply, power point, consumers of electricity.

АННОТАЦИЯ

Федоса Д.В. Развитие метода формирования структуры систем цехового электроснабжения радиальной топологии – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 - электрические станции, сети и системы. Запорожский национальный технический университет, Запорожье, 2014.

В диссертационной работе выполнены актуальные и востребованные практикой научные исследования, направленные на развитие метода формирования структуры систем цехового электроснабжения радиальной топологии с минимальной номинальной составляющей потерь электроэнергии, содержащих приемники электрической энергии с рекуперацией электроэнергии в питающую сеть для обеспечения автоматизации построения структуры таких систем и сокращения сроков их проектирования.

Показано, что определяющее значение на формирование структуры системы цехового электроснабжения оказывают решения трех взаимосвязанных задач (определение числа источников питания и места их установки, выбор мощности источников питания, распределение потребителей электрической энергии по источникам питания), исходными данными каждой из которых являются результаты решения двух других. Это вызывает неопределенности при их решении существующими методами, и для их устранения, часть решений задается лицом принимающим решение в качестве начальных условий.

Существенное влияние на структуру системы цехового электроснабжения оказывают процессы энергообмена, вызываемые рекуперацией электрической энергии в питающую сеть. Однако анализ существующих методов формирования структуры системы цехового электроснабжения показал, что ни в одном из них не осуществляется учет потребителей с функцией рекуперации электрической энергии в сеть.

Для реализации алгоритма одновременного решения трех взаимосвязанных задач формирования структуры системы цехового электроснабжения были рассмотрены возможности усовершенствования метода предложенного профессором А.А. Федоровым, основанного на использовании потенциальных функций нагрузок.

В процессе усовершенствования метода формирования структуры системы цехового электроснабжения разработана процедура определения значения коэффициента контрастности рельефа в методе потенциальных функций нагрузок, позволяющая учесть ожидаемые потери электрической энергии в линиях и

исключить влияние фактора разброса мощностей потребителей, а также геометрических размеров цеха.

Для метода разработаны две процедуры, позволяющие реализовать одновременное решение трех взаимосвязанных задач. Первая включает новый способ определения принадлежности потребителя электроэнергии к группе источника питания, который устраняет фактор субъективной оценки лицом принимающим решение и основан на оценке ранжированных значений потенциальных функций нагрузок для каждого потребителя электроэнергии относительно каждого локального максимума, как доли участия в его формировании. Вторая – новый способ решения задачи выбора конструктивного исполнения источников питания посредством согласования групп потребителей электроэнергии с мощностью трансформаторов источников питания на основе комбинаторной оптимизации и технико-экономической оценки.

Также для метода потенциальных функций нагрузок предложен способ определения количества силовых пунктов и координат их установки для участка системы цехового электроснабжения, в том числе, содержащего потребителей с функцией рекуперации электрической энергии в сеть.

Усовершенствованный метод реализован программно на высокоуровневом языке программирования общего назначения *Python*. Для работы с многомерными массивами и матрицами применено расширение языка *Python* – *NumPy*. В реализации нового способа определения принадлежности потребителя электроэнергии к группе источника питания, для осуществления поиска локальных экстремумов, применен инструмент обработки изображений и распознавания образов *scikit-image* из открытой библиотеки научных инструментов *SciPy*.

Для осуществления комбинаторной оптимизации, во второй процедуре усовершенствованного метода использована открытая библиотека численной оптимизации *OpenOpt*, разработанная в отделе оптимизаций Института кибернетики Национальной академии наук Украины.

Апробация программной реализации алгоритма усовершенствованного метода показала, что метод дает возможность получить схемные решения структуры системы цехового электроснабжения радиальной топологии с меньшим значением величины номинальной составляющей потерь электрической энергии в среднем на 28%, что повышает КПД системы на 1,5-2%.

Результаты диссертационной работы внедрены в опытную эксплуатацию в электротехническом отделе государственного предприятия «ДІПроПром» (г. Запорожье) с целью повышения качества принимаемых решений и сокращения сроков проектирования, и могут быть использованы научно-исследовательскими и проектными организациями, которые занимаются проектированием и реконструкцией систем цехового электроснабжения.

Во время опытной эксплуатации установлено, что сокращение времени на варианты проработки и выбор основной схемы составляет в среднем 8%, и времени проектирования цехов, в одном помещении которых находится более 20 потребителей электроэнергии – до 12%.

Ключевые слова: система электроснабжения, проектирование, потери электрической энергии, рекуперация, цеховая электрическая сеть, радиальная топология, источник питания, силовой пункт, потребители электрической энергии.

Підписано до друку 29.09.2015 р. Формат 60x90 1\16.
Папір офсетний. Друк різнографічний. Гарнітура Times New Roman.
Умовн. друк. арк. 0,9. Тираж 100 прим. Замов. № 48-32

Видавництво «Агентство Орбіта-ЮГ»,
Україна, 69001, м. Запоріжжя, вул. Патріотична, 14, к. 7
Свідоцтво ДК № 2826 від 16.04.2007 р.

