



УДК 621.316.11

ПОБУДОВА СТРУКТУРИ МЕРЕЖ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВ АПК, ЩО МІСТЯТЬ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ

Заболотний А.П., к.т.н.,

Федоша Д.В., аспірант*

Даус Ю.В., аспірант*

Данильченко Д.О.

Запорізький національний технічний університет

Тел.: (061) 7698280

Анотація – запропоновано застосувати метод еквіпотенціальних поверхонь для побудови оптимальної, з точки зору втрат електричної енергії, структури систем електропостачання, що містять вітроенергетичні установки.

Ключові слова - вітроенергетичні установки, структура систем електропостачання, метод еквіпотенціальних поверхонь, втрати електричної енергії.

Постановка проблеми. В даний час спостерігається постійне зростання частки «малої» генерації в енергобалансі підприємств АПК. Це пов'язано з широким впровадженням відновлюваних джерел електроенергії, і зокрема, вітроенергетичних установок (ВЕУ).

На сьогоднішній день малі (потужністю до 20 кВт) ВЕУ в основному використовуються як автономні та резервні системи енергозабезпечення. Однак, останнім часом, все більш широко стали вводитися в експлуатацію об'єкти з комплексним використанням декількох малих вітроелектростанцій, які виробляють уже промислові обсяги електроенергії як для власних цілей з можливістю мережевого підключення, так і для продажу електроенергії в мережу або іншим споживачам.

Аналіз останніх досліджень. За даними дослідження, проведеного Українською вітроенергетичною асоціацією (УВЕА) [1], за роки незалежності України (1991-2009 р.р.) в країні встановлено близько 1170 вітроагрегатів потужністю кожен до 10 кВт. Сумарна встановле-

© А.П. Заболотний, к.т.н.; Д.В. Федоша, аспірант; Ю.В. Даус, аспірант; Д.О.Данильченко

Науковий керівник - Заболотний А.П., к.т.н., доц..

на потужність працюючих в Україні ВЕУ малої потужності сягає 12 МВт, що складає 13% від сумарної встановленої потужності всіх встановлених вітрогенераторів в країні.

Тільки в 2009 році в Україні було інстальовані понад 250 вітрових установок потужністю від 300 Вт до 20 кВт, сумарна встановлена потужність яких становила 450 кВт.

У 2010 році сумарна встановлена потужність склала вже 600 кВт, і в порівнянні з попереднім роком кількість реалізованих проєктів зростає на 27%. При чому, вітрогенератори малої потужності українського виробництва склали в одиницях 39% і за потужністю 49% частки українського ринку, а імпортовані 57% і 51% відповідно, що характеризує прагнення українського ринку споживачів до вітрогенераторів вітчизняного виробництва, при чому, більшість з яких підключається до електричних мереж [1].

На жаль, на сьогоднішній день існують труднощі з практичним підключенням об'єктів вітроенергетики в загальні енергетичні мережі, відсутні механізми отримання «зелених тарифів» виробниками електроенергії від малої вітрогенерації, відсутня державна підтримка як виробників малих ВЕУ, так і тих, хто застосовує малі ВЕУ для виробництва електроенергії, висока ціна супутнього обладнання.

Крім того, збільшення частки ВЕУ в загальному обсязі генерованої електроенергії створює ряд загальносистемних технічних проблем [2]:

- ускладнення диспетчерського управління електроенергетичною системою;
- ускладнення системи релейного захисту та автоматики, а також протиаварійного управління;
- кожна ВЕУ має свої динамічні характеристики і можливості управління, що призводить до необхідності вирішення проблем електромагнітної сумісності;
- збільшення струмів короткого замикання, що призводить до заміни комутаційних апаратів, зміни налаштувань захистів та ін.;

Але основна проблема неузгодженого приєднання розрізаних ВЕУ до мережі - це складність управління і прогнозування режимів роботи енергосистеми, пов'язані з виникненням перетоків потужності по мережі.

Тенденції зростання тарифів на електричну енергію обумовлюють значне збільшення складової вартості втрат електроенергії в мережах при її передачі і розподілі. Особливої актуальності це набуває в мережах електропостачання підприємств АПК, що обумовлено їх протяжністю, розгалуженістю та використанням низьких класів напруги.

Зменшення складової вартості втрат електроенергії можливо лише шляхом оптимізації структури під час реконструкції існуючих мереж електропостачання.

Ключовим завданням при формуванні оптимальної структури мережі електропостачання є задача визначення кількості джерел живлення і розподіл за ними приймачів електроенергії, а також обладнання проміжних вузлів навантаження (рівнів розподільчої мережі) з урахуванням розрізнених ВЕУ.

Основні підходи при вирішенні завдань побудови оптимальної структури мережі електропостачання базуються на використанні оціночних та оптимізаційних моделей [3]. Перші служать для визначення техніко-економічних показників для заданого проектувальником варіанту мережі. Другі - для визначення оптимального варіанту конфігурації мережі в межах прийнятих проектувальником припущень відповідно до прийнятого критерієм оптимальності. При цьому в оптимізаційних моделях необхідно враховувати дискретність деяких величин (перетин проводів та кабелів, потужність і кількість трансформаторів, кількість приєднань до РП і т.д.).

Аналіз існуючих підходів до формування структури систем електропостачання показав, що існує метод, здатний вирішувати вище перераховані завдання одночасного - метод екіпотенціальних поверхонь [4].

Формування цілей статті. Пропонується застосувати метод екіпотенціальних поверхонь з метою одержання оптимальної структури мережі електропостачання, що містить ВЕУ з точки зору втрат електричної енергії та мінімізації капітальних вкладень на її побудову.

Основна частина. Суть методу екіпотенціальних контурів полягає в проведенні аналогії між навантаженням приймачів (P_i), розташованих в точках $(x_i; y_i)$, і потенціалами деяких джерел енергії, розташованих в тих же точках. Потенціали цих джерел дорівнюють навантаженням приймачів. При віддаленні від точки розташування приймача потенціал від джерела, розташованого в тій самій точці, зменшуватиметься і в деяких віддалених точках потенціал буде близький до нуля. Сукупність усіх потенціалів джерел енергії утворює потенційну поверхню, яку можна описати потенційною функцією

$$П(x, y) = \sum_{i=1}^n P_i \cdot e^{-1 \cdot \alpha_{\Delta P_i} [(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2]}, \quad (1)$$

де $\alpha_{\Delta P_i}$ – коефіцієнт, який враховує втрати потужності від джерела живлення до приймача

$$\alpha_{\Delta P_i} = \frac{P_i^2 \cdot \rho}{U^2 \cdot F(P_i)}, \quad (2)$$

де: ρ – питомий опір матеріалу провідника;
 $F(P_i)$ - переріз провідника визначається як функція від переданої потужності;
 U_i - напруга;
 P_i - потужність приймача.

Використання запропонованого коефіцієнта $\alpha_{\Delta P_i}$ (вираз (2)) дає можливість відразу оцінити ступінь майбутніх втрат в провідниковому матеріалі при визначенні центру електричних навантажень. Крім того запропоновано використання замість екіпотенціальних контурів, як критерію, "потенційний" і "технічний" критерії формування вузлів навантаження (критерії відбору).

Функція (1) є основою для "потенційного" критерію відбору, за яким на потенційній поверхні, яку утворює функція, визначається точка максимуму потенціалу. Ця точка надалі виступає в ролі центру електричних навантажень. Приймачі, які будуть отримувати живлення від цього центру електричних навантажень за "потенційним" критерієм визначаються як приймачі, які брали участь у формуванні максимуму функції (1). Ці приймачі зараховуються до "потенційної" групи.

Аналогічну поверхню можна побудувати і для ВЕУ, де P_i приймає значення рівне величині енергії, що генерується таким джерелом енергії, але зі знаком мінус.

Накладення цих двох поверхонь призводить до зміни координат максимуму, тим самим уточнюються координати установки джерела живлення.

«Потенційна група» є закінченим структурним елементом майбутньої розподільчої мережі, але той факт, що при формуванні "потенційної" групи були враховані лише розташування приймачів відносно один одного і очікувані втрати електричної енергії в розподільчій мережі, не дає можливості запровадити "потенційну" групу в майбутню розподільчу мережу, так як крім врахованих факторів ще необхідно провести узгодження майбутньої "потенційної" групи з можливим конструктивним виконанням вузла навантаження.

Для вирішення цього завдання використовується "технічний" критерій. "Технічний" критерій відбору виконує функцію узгодження приймачів "потенційної" групи з можливим конструктивним виконанням її джерела живлення. Критерій діє на основі принципу надлишковості "потенційної" групи по відношенню до граничних

умов "технічного" критерію. На основі взаємодії "потенційного" і "технічного" критеріїв відбору складається алгоритм методу.

Принцип роботи алгоритму базується на утворенні зворотних зв'язків, які охоплюють обидва критерії і створюють умови для становлення алгоритму як самоорганізуючої моделі побудови структури мережі.

Розглядаючи критерії відбору як граничні умови функціонування моделі, запропонований підхід дає можливість закладення в них дискретності конструктивних умов виконання структури мережі, яка містить ВЕУ, і чим повніше перенесені ці умови в критерії відбору, тим більше можливостей побудувати оптимальну структури такої мережі [5].

Таким чином, побудову структури системи електропостачання, що містить ВЕУ, можна представити у вигляді наступного алгоритму.

На першому етапі будується потенційна поверхня для електроприймачів в режимі споживання.

На другому етапі будується поверхня для режиму, в яких ВЕУ виробляють електроенергію в мережу.

Потім проводиться накладення цих поверхонь і на сумарній поверхні виділяється максимум функції, в координатах якого і буде розташоване джерело живлення.

Важливим моментом у визначенні цих координат є облік зон заборони прокладки ліній і установки джерел живлення. Для цього можливо використовувати методи розпізнавання образів, відповідно до яких передбачено розбиття простору об'єкта, на області, які не перетинаються, кожна з яких відповідає відображенню одного і того ж класу, до якого допустимо елементарний математичний опис [6].

На наступному етапі проводиться відбір електроприймачів за «потенційним» критерієм, а потім за «технічним» з урахуванням дискретності конструктивного виконання елементів.

Згідно з "потенційним" критерієм відбору на потенційній поверхні, визначається точка максимуму потенціалу. Ця точка надалі виступає в ролі центру електричних навантажень. Приймачі, які будуть отримувати живлення від цього центру електричних навантажень зараховують до "потенційної" групи.

"Технічний" критерій відбору виконує функцію узгодження приймачів "потенційної" групи з можливим конструктивним виконанням її вузла живлення.

В результаті відбору електроприймачів за вищевказаними критеріями формується група електроприймачів першого джерела жив-

лення, що виключається з подальшого розгляду при формуванні структури мережі.

Після цього, знову будуються дві (якщо залишилися ВЕУ), або одна (якщо всі ВЕУ приєднані до джерел живлення) потенційні поверхні і здійснюється формування групи електроприймачів другого джерела живлення.

У результаті циклічної дії (до тих пір, поки всі електроприймачі не отримають своє джерело живлення) формується радіальна структура системи електропостачання, після чого здійснюється перевірка можливості організації проміжних джерел живлення.

На останньому етапі проводиться оцінка можливості (за критеріями мінімуму капітальних витрат і втрат електроенергії) заміни окремих ділянок радіальної мережі на магістральні ділянки. Таким чином, метод порівняльної оцінки передбачає аналіз локальної ділянки структури мережі з визначенням ряду технічно доцільних варіантів її виконання та подальше порівняння цих варіантів між собою.

Блок схема алгоритму побудови структури мереж електропостачання, що містять ВЕУ, подано на рисунку 1.

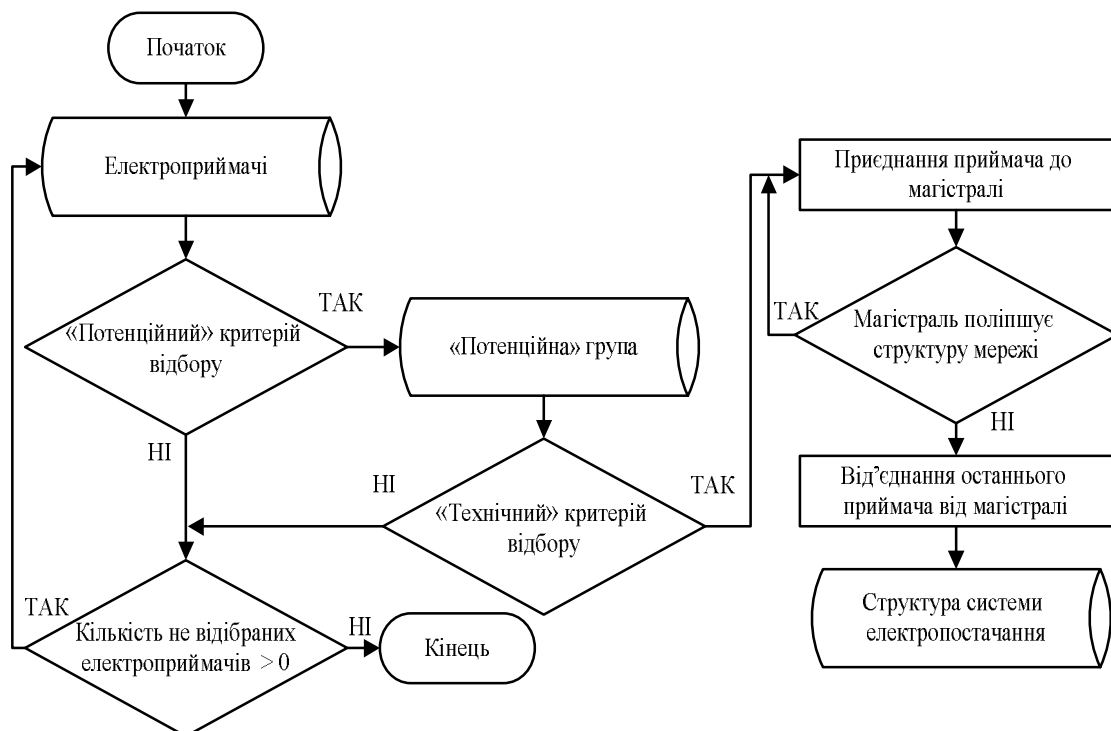


Рис. 1. Блок схема алгоритму побудови структури мереж електропостачання що містять ВЕУ.

Запропонований алгоритм був реалізований програмно за допомогою мови програмування Python і пакета математичного обчислення SciPy.

Використання даного алгоритму дозволяє побудувати інженерні методики для попереднього розрахунку структури розподільних мереж, що містять ВЕУ, оцінити потенціал вже існуючих мереж, проводити оцінку ефективності їх роботи при реконфігурації, а також провести оцінку капіталовкладень при реконструкції частини мережі [7].

Висновки. На основі спільного використання оціночних та оптимізаційних моделей запропонований метод дає можливість побудувати оптимальну структуру мережі електропостачання підприємств АПК, що містить ВЕУ, за замкнутою схемою, що дозволить суттєво зменшити експлуатаційні витрати необхідні для підтримки потрібного рівня надійності мережі і підвищити пропускну здатність існуючих мереж в 1,3-1,5 разів без додаткових витрат на підвищення перерізу проводів та кабелів.

Література

1. Звіт Української вітроенергетичної асоціації «Вітроенергетика 2010». Київ, 2011– с.19.
2. *Воропай Н.И.* Распределенная генерация в электроэнергетических системах / *Н.И. Воропай* // Малая энергетика: труды Международной научно-практической конференции. – 2005. – с. 13-21.
3. *Электротехнический справочник. Общие вопросы. Электротехнические материалы/ [В. Г. Герасимова, Грудинского П.Г., Жукова Л.А. и др.] ; под ред. В. Г. Герасимова. — [9-е изд.] — стер. в 3-х томах. — М: Энергия, 2003.. — 520 с.*
4. *Заболотный А.П.* Формирование структуры распределительной сети методом потенциальных контуров и возможности его усовершенствования / *Заболотный А.П., Федоша Д.В., Криворученко Н.Л., Яценко О.О.*//Електротехніка та електроенергетика. – 2008. - № 2. – С. 71 - 74.
5. *Заболотный А.П.* Построение оптимальной структуры сетей электроснабжения предприятий АПК / *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.
6. *Качан Ю.Г.* О возможности распознавания топологии оптимальной системы электроснабжения / *Ю.Г. Качан, В.В. Дьяченко* // Гірничча електромеханіка та автоматика – 2007. - № 78. – С.3-5.

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

ПОСТРОЕНИЕ СТРУКТУРЫ СЕТЕЙ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ АПК, КОТОРЫЕ СОДЕРЖАТ ВЕТРОЭНЕР- ГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

Заболотний А.П., Федоша Д.В., Даус Ю.В., Данильченко Д.О.

Аннотация – предложено применить метод эквипотенциальных поверхностей для построения оптимальной, с точки зрения потерь электрической энергии, структуры систем электрообеспечения, которые содержат ветроэнергетические установки.

CONSTRUCTION OF AGRICULTURE CONSUMERS POWER SUPPLY NETWORK STRUCTURE, CONTAINING WIND POWER SET

A. Zabolotniy, D. Fedosha, J. Daus, D. Danylchenko

Summary

There is suggested to apply equipotential surfaces method to the energy losses optimal structure designing of power supply system, containing wind power set.