

ВІДГУК
офіційного опонента на дисертаційну роботу
Климка Володимира Івановича «Вітросонячні системи
електроживлення малопотужних споживачів», яка подана на здобуття
наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи

Актуальність теми

Важливим на сьогоднішній день для України є її енергетична безпека. Насамперед, це стосується залежності України від російського енергетичного носія – газу. Основною альтернативою для газу є електрична енергія. Проте, через обмежені значення пропускних потужностей, що лімітуються енергопостачальними компаніями, споживачі не можуть отримати бажану кількість електроенергії. Одним із шляхів вирішення цього питання є генерування електроенергії з поновлюваних джерел енергії, таких як вітрова та енергія сонячного випромінювання. Це здійснюється, відповідно, з допомогою вітроелектричних установок (ВЕУ) та фотоелектричних установок (ФЕУ), які щораз частіше використовуються для електроживлення малопотужних споживачів. Оскільки енергетичні потенціали вітру та сонця в переважній частині України є невисокими, то актуальними стають заходи, спрямовані на підвищення енергетичної ефективності установок: для ВЕУ з вертикальною віссю обертання (ВВО) це застосування пристроїв концентрації вітрового потоку, а для ФЕУ – пристроїв орієнтації на сонце. Через стохастичний характер надходження поновлюваної енергії доцільним є використання одразу кількох поновлюваних джерел енергії, наприклад, вітру та сонця, в одній установці, що б дало змогу вирівняти графік генерування електричної енергії.

Сьогодні вже достатньо поширеними є вітросонячні системи електроживлення (ВССЕ) на базі поновлюваних джерел енергії такі як автономні, розраховані на віддаленого від електромереж споживача, та мережеві, що віддають надлишкову генеровану електроенергію в централізовану мережу. Автор у дисертаційному дослідженні запропонував нову автономно-мережеву ВССЕ, де третім, резервним джерелом електроенергії є централізована електрична мережа. Для розглянутих систем електроживлення були розроблені алгоритми їх роботи, а також методика та програмне забезпечення для розрахунку цільових функцій з метою оптимізації параметрів цих систем. Оптимізаційні комплексні дослідження базуються на метеорологічних даних місцевості, де розташовується споживач, економічних показниках (інфляція, ставка дисконтування) та графіку електричного навантаження споживача.

Розроблена автором методика техніко-економічної оптимізації параметрів розглянутих систем електроживлення дає змогу оперативно для

будь-якого споживача підбирати оптимальні параметри складових елементів таких систем.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, їх достовірність і новизна

Ступінь обґрунтованості отриманих у дисертації наукових положень і висновків є достатнім і підтверджується коректністю постановки та розв'язання задач досліджень, застосуванням загальновідомих положень фундаментальних законів теоретичної електротехніки, електромеханіки та аеродинаміки. Достовірність отриманих результатів підтверджується проведенням комплексних досліджень із застосуванням теоретичних та експериментальних методів. Автором розроблено комп'ютерну програму у математичному пакеті Matlab для моделювання погодинних енергетичних перетоків в різних ВССЕ. Проведено низку моделювань аеродинамічних процесів роботи вітроротора (ВР) ВЕУ та ВР в поєднанні з концентратором вітрового потоку методом скінчених елементів. Розроблено імітаційну модель у середовищі MATLAB/Simulink, для моделювання різних способів відбору потужності від синхронного генератора з постійними магнітами (СППМ). Також проведено низку теоретичних досліджень, що спрямовані на визначення оптимальних уточнених сезонних та річних кутів нахилу фотоелектричних панелей до горизонту при різних варіантах їх наведення на сонце.

Основні наукові положення, висновки та рекомендації дисертаційної роботи базуються на результатах виконаного аналізу енергоефективності розглянутих ВССЕ.

Можна виділити такі основні пункти наукової новизни, що були отримані в ході виконання дисертаційних досліджень:

- запропоновано нову структуру комбінованої системи електроживлення окремого об'єкта з використанням електроенергії, що отримується від поновлюваних джерел енергії вітру і сонця та від централізованої електричної мережі, а також розроблено для неї систему керування енергопотоками на вищому рівні, що забезпечує безперервне та економічно вигідне електричне живлення споживача за мінімальної ємності чи повного виключення з системи акумуляторних батарей ;
- обґрунтовано цільові функції енергоефективності для трьох принципово різних структур ВССЕ окремих об'єктів з відповідними алгоритмами керування енергопотоками та розроблено метод параметричної оптимізації цих систем з використанням генетичних алгоритмів, що дає змогу створювати ефективні системи електроживлення для конкретних споживачів з різними рівнями електроспоживання;
- розроблено новий активно-пасивний метод керування електричним

навантаженням СГПМ у ВЕУ, який полягає в регульованому відборі потужності від генератора через діодний міст та підвищувальний DC-DC-перетворювач на малих швидкостях вітру, а на середніх та великих регулювання відбувається пасивним способом, коли генератор безпосередньо навантажується через діодний міст на проміжну ланку постійної напруги оптимальної величини, що дає змогу відбирати практично максимальну потужність від вітру в усьому робочому діапазоні зміни його швидкості, використовуючи електронний перетворювач лише на третину потужності ВЕУ;

- вперше для м. Львова визначено уточнені річні та сезонні оптимальні кути нахилу фотоелектричних панелей до горизонту при двокоординатному і азимутальному способах їх стеження за сонцем та при орієнтації стаціонарно розміщених панелей строго на південь на основі погодинної інформації про відносні тривалості сонячного сьйва в інтервалах реального часу, що дає змогу підвищити енергетичну ефективність роботи сонячних фотоелектричних установок.

Практичне значення та шляхи використання результатів досліджень

Сформована погодинна електронна база метеорологічних даних може бути використана в подальших наукових дослідженнях, спрямованих на ефективне використання поновлюваних джерел енергії у м. Львові та його околицях.

Розроблені методика та відповідне програмне забезпечення дають змогу оперативно визначати оптимальні параметри ВССЕ для споживачів з різними рівнями електроживлення та конкретними графіками енергоспоживання.

Запропонована нова енергоефективна для умов з низькопотенціальними енергетичними ресурсами конструкція вітросонячної установки, що складається з ВЕУ з ВВО та симетричного нерухомого концентратора вітрового потоку, а також з фотоелектричних панелей із поворотним механізмом для азимутального їх стеження за сонцем, може бути використана як складова частина ВССЕ для забезпечення енергетичних потреб споживача.

Новий розроблений пристрій – електромагнітний перетворювач механічної енергії в теплову (ЕПМЕТ), дає змогу підвищити кількість отримуваної від вітру енергії в малопотужних автономних ВЕУ з ВВО та використати її у вигляді теплоти, необхідної для побутових потреб.

Результати проведених в роботі досліджень використовуються в науково-дослідних роботах, що виконуються в СКБ електромеханічних систем Національного університету «Львівська політехніка», ПП «ЕКО-СТ» для створення систем електроживлення на базі вітрових і сонячних

установок, а також у навчальному процесі кафедри «Електропривод та комп'ютеризовані електромеханічні системи» Львівської політехніки.

Оцінка об'єму та змісту дисертації

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів з висновками, загальних висновків, переліку використаних джерел у кількості 190 позицій, 4-х додатків, у тому числі з довідками про використання результатів дисертаційної роботи. Загальний об'єм дисертації 209 сторінок.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету, завдання досліджень, наукову новизну і практичну цінність роботи, наведено відомості про апробацію і публікації основних результатів дисертації.

У **першому розділі** описано відомі технічні рішення для отримання електричної енергії від поновлюваних джерел енергії вітру та сонця. Проведено аналіз відомих структур ВССЕ, а також способів їх параметричної оптимізації. Проведено порівняльний аналіз різних варіантів електромеханічних систем для малопотужних ВЕУ з ВВО, а також систем для відбору потужності від СГПМ. Проаналізовані теоретичні напрацювання, необхідні для оцінки аеродинамічних характеристик ВР з ВВО, розрахунку електроенергії на виході ВЕУ з ВВО та ФЕУ. Сформовано завдання, які необхідно вирішити у дослідженні.

У **другому розділі** сформовано електронну базу метеорологічних даних для м. Львова, яка є вхідною інформацією для подальших дисертаційних досліджень. Проаналізовано місцеві вітровий та сонячний енергетичні ресурси. Сформовано методику розрахунку кількостей електроенергії, що може бути отримана з конкретних ВЕУ та ФЕУ.

Особливої уваги заслуговує запропонована конструкція вітросонячної установки, яка може ефективно працювати на низьких та середніх швидкостях вітру, а завдяки азимутальному наведенні фотоелектричних панелей на сонце – максимально відбирати падаючу сонячна енергія. Також для відбору надлишкової генерованої від вітру енергії запропоновано використати розроблений ЕПМЕТ.

У **третьому розділі** розроблено методику техніко-економічної оптимізації керованих ВССЕ. В методиці використано сучасний підхід оптимізації за допомогою генетичних алгоритмів. Запропоновано цілком нові критерії оптимізації (цільові функції) для мережевої та автономно-мережевої систем, відповідно, ТІОЕС (прибуток від продажу надлишкової електричної енергії) та COS (ціна установки з врахуванням витрат на споживання електроенергії з мережі). Розроблено комп'ютерні програми в середовищі Matlab, де, відповідно до графіку електричного навантаження споживача, розраховуються погодинні перетоки електричної енергії між вузлами системи. Також в програмах проводиться кошторисний аналіз елементів ВССЕ. Особливо цінним є розроблення для кожної з систем детальних

алгоритмів розрахунку цільових функцій та критеріїв енергоефективності, за значеннями яких проводиться вибір оптимальних параметрів елементів розглянутих систем. Як приклади у дисертації для трьох різних за графіками електричного навантаження споживачів проведено параметричну оптимізацію.

У четвертому розділі обгрунтовано раціональні параметри вітросонячної установки для забезпечення електроенергією окремого об'єкта. Параметри ВР з концентратором вітрового потоку вибрано на основі математичних моделювань аеродинамічних процесів роботи останнього у високоадекватному програмувальному середовищі для моделювання процесів гідродинаміки. З використанням імітаційного моделювання знайдено оптимальні кути нахилу фотоелектричних панелей до горизонту.

Створено макетний взірець ВР з ВВО та концентратором вітрового потоку і проведено його експериментальні дослідження в реальних умовах (пориви вітру). Результати експерименту підтверджують працездатність установки, а також її ефективність під час роботи на малих вітрах.

Запропоновано комбіновану систему відбору потужності від СГПМ з малопотужним DC-DC перетворювачем, що працює на малих швидкостях вітру, а на великих – ВЕУ автоматично регулюється пасивним способом.

Встановлено, що у випадку азимутального стеження фотоелектричних панелей за сонцем можна отримати на 30% більше електроенергії на виході, ніж при орієнтації панелей строго на південь. Знайдено оптимальні уточнені кути нахилу останніх до горизонту: 51° для панелей з азимутальним наведенням та 33° – для панелей, що зорієнтовані строго на південь.

Створено макетний взірець блоку генераторів для ВЕУ з ВВО, у якому на одній осі розміщено електричний генератор – СГПМ, і тепловий генератор – ЕПМЕТ, що дає змогу генерувати одночасно електричну енергію та теплову енергію.

Розроблено та детально описано повну функціональну схему системи керування автономно-мережевою ВССЕ.

Загальні висновки по дисертаційній роботі повністю висвітлюють одержані наукові результати з кількісними показниками, а також включають основні рекомендації щодо їх використання.

Оцінка публікацій, автореферату та оформлення дисертації

Основні результати дисертаційної роботи достатньо повно висвітлені в 10-и наукових працях. Кількість публікацій у фахових виданнях відповідає чинним вимогам. Результати дисертації пройшли належну апробацію на численних міжнародних науково-технічних конференціях та семінарах. Особливої уваги заслуговує участь дисертанта на наукових конференціях в Польщі (XXIV Seminarium Naukowo-Techniczne «Problemy Eksploatacji Maszyn i Napędów Elektrycznych» Rytro, 2015) та США («International Journal

of Arts and Sciences conference. Multidisciplinary conferences in a "study abroad" format (IJAS-2015)», м. Бостон, Гарвард, 2015). Також необхідно відзначити, що автор отримав патент на винахід України та позитивне рішення про патент на корисну модель.

Зміст автореферату повністю відповідає основним положенням дисертації.

Дисертація оформлена з дотриманням вимог, написана грамотно.

Зауваження до дисертації

Поряд з позитивними сторонами дисертації, варто відзначити й низку зауважень:

- у дисертаційному дослідженні було поставлено зовелику кількість завдань, і хоча вони були виконані, проте глибина їх опрацювання є різною. На мою думку, вартувало би скоротити кількість завдань і більше зосередитися на найбільш актуальних;
- у четвертому розділі автор здійснив оптимізацію концентратора вітрового потоку для ВЕУ з ВВО, проте не було здійснено оптимізацію параметрів самого вітроротора, якщо не враховувати коефіцієнт заповнення;
- у роботі не вказано вартості створених електромагнітних перетворювачів механічної енергії в теплову та ВЕУ з ВВО та концентратора вітрового потоку, що унеможливує розрахунок періоду окупності вітросонячних систем електроживлення запропонованої конструкції;
- встановлення фотоелектричної батареї на вертикальній осі ВЕУ має ряд технічних проблем, наприклад, вібраційна дія, надійність конструкції, тощо;
- не показана схема магнітного кола двоякірного синхронного генератора з постійними магнітами (рис.4.48, рукопис дисертації), що утруднює аналіз його переваг перед іншими типами генераторів;
- суперечливе твердження (ст.7 автореферату) про те, що для умов м. Львова доцільно створювати ВЕУ, розраховану на «невисоку» номінальну $V_B = 10$ м/с, а вище на цій же сторінці швидкості 6–10 м/с названі високими;
- на ст. 9 (автореферату) згадується пристрій для теплової утилізації енергії, який названий «тепловим генератором», який працює за принципом індукційного нагрівача, але результати дослідження його роботи ніде не відображені;
- відсутнє пояснення, чому концентратор вітрового потоку забезпечує некоректні цифри зростання коефіцієнта потужності за швидкості вітру 4 м/с на 70,2%, за 7 м/с на 52,6 і за 10 м/с на 59,7(ст.13), тобто закономірність не прослідковується;

- трапляється вживання технічної термінології, яка відрізняється від загальноприйнятої, наприклад, «сонячного випромінювання» замість «опромінення» (ст.1), «сонячного сьйва» (ст.3), площа «омивання» (ст.5), «енергоперетоки» (ст. 10), два різних терміни «слідкування» за сонцем (ст.1) і «стеження» (ст.13);
- деякі загальні висновки близькі за змістом, наприклад п.2 і п.7.

Висновок

Дисертаційна робота Климка Володимира Івановича на тему «Вітросонячні системи електроживлення малопотужних споживачів» є завершеною працею, в якій отримані нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності вирішують науково-прикладне завдання створення перспективних структур ВССЕ з методикою обґрунтування оптимальних параметрів їх складових елементів для малопотужних споживачів, а також розроблення ефективної конструкції вітросонячної установки для реалізації ВССЕ. За актуальністю обраної теми, обсягом та рівнем виконаних досліджень, повнотою вирішення наукових і практичних задач, новизною і ступенем обґрунтованості отриманих результатів та практичних висновків дисертаційна робота відповідає вимогам, які ставляться до кандидатських дисертацій, а за змістом поданого в ній матеріалу – паспорту спеціальності 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи.

Представлена дисертаційна робота відповідає вимогам МОН України, які ставляться до робіт на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, і пп. 9, 11, 12 положення «Порядок присудження наукових ступенів», а її автор Климко Володимир Іванович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальність 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи.

Директор навчально-наукового інституту
енергетики, автоматики і енергозбереження
Національного університету біоресурсів
і природокористування України
доктор технічних наук, професор



В.В. Козирський

22 квітня 2016 р.

