

## ВІДГУК

**офіційного опонента П.Ф. Васька на дисертаційну роботу  
Щура Всеволода Ігоровича на тему «Енергосфактивне керування  
вітроустановками малої потужності для генерування електричної і теплової  
енергії», що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних  
наук за спеціальністю 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи**

**Актуальність теми.** В малій вітроенергетиці на сьогодні набуває поширення сумісне комбіноване виробництво електричної та теплової енергії для потреб автономних споживачів. Такий підхід надає можливість застосовувати електрохімічні акумуляторні батареї лише для забезпечення електроспоживачів, а потреби в тепловій енергії реалізовувати шляхом застосування теплових акумуляторів, що характеризуються значно вищими питомими техніко-економічними показниками.

Дисертаційні дослідження Щура В.І спрямовані на розроблення способів та засобів автоматичного керування, які забезпечують високу енергетичну ефективність роботи вітроустановок, оснащених електричним та електротепловим генераторами з приводом від одного валу. Свідченням актуальності досліджень і розробок дисертації слугує також їх відповідність планам науково-дослідних робіт Національного університету «Львівська політехніка», перелік яких наведено у дисертації та авторефераті.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, їх достовірність і новизна.** Проведені дослідження базуються на застосуванні основних теоретичних положень вітротехніки та електротехніки, математичному моделюванні динаміки руху електромеханічної системи вітроустановки, числових методах розв'язку систем диференціальних рівнянь, теорії автоматичного керування, сучасних пакетів прикладних комп'ютерних програм, експериментальних дослідженнях.

Для дослідження ефективності усіх систем вітроелектротеплової установки розроблено відповідні імітаційні моделі у середовищі MATLAB/Simulink та проведено симулювання їх роботи на квазістаціонарних та турбулентних вітрах. Результати математичного моделювання порівнювалися з результатами фізичних експериментів на макетному взірці вітроустановки з симулятором роботи вітротурбіни на заданому профілі вітрового потоку.

Методи дослідження відповідають поставленим задачам і забезпечують достатньо ефективно їх розв'язання та досягнення сформульованої мети роботи. Наведені аргументи дозволяють визнати достовірними наукові результати, основні положення та висновки прикладних досліджень дисертації.

Наукова новизна роботи полягає в наступному:

1. Розроблено нову комбіновану систему керування вітроелектричною установкою, що здійснює регулювання електромагнітного моменту генератора за відхиленням кутової швидкості від оптимального значення та збуренням швидкості вітру з коректором оптимальних координат на базі нечіткої логіки, що дало змогу врахувати залежність аеродинамічних характеристик вітроротора від параметрів навколишнього середовища та підвищити енергоефективність вітроустановки на турбулентних вітрах.

2. Уперше запропоновано метод двопозиційного оптимального регулювання термоелектричного навантаження генератора вітроелектротеплової установки з різними способами формування гістерезису та синтезовано відповідну систему керування, що підвищує енергоефективність установки.

3. Розроблено нову систему дворівневого автоматичного керування процесами генерування, накопичення та розподілу електричної й теплової енергії вітроустановкою з електромагнітним теплогенератором, яка на нижньому рівні реалізує оптимальне керування процесами генерування і накопичення, а на верхньому - розподілу енергії за стохастичного характеру надходження та споживання.

**Практичне значення та шляхи використання результатів досліджень.** Автором розроблені нові спосіб та система (пристрій) керування вітроелектротепловою установкою, пріоритет яких підтверджено патентами України. Схеми, математичні та імітаційні моделі вітроелектротеплової установки рекомендуються до використання в організаціях з розробки і виготовлення вітротехніки, та в навчальному процесі вищих учбових закладів.

Результати дисертаційного дослідження вже отримали часткове впровадження, що засвідчують відповідні довідки, наведені в роботі.

**Оцінка об'єму та змісту дисертації.** Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів з висновками, загальних висновків, переліку використаних джерел у кількості 178 позицій, 5-и додатків, у тому числі з довідками про

використання результатів. Загальний об'єм дисертації 246 сторінок. Робота ілюстрована 116 рисунками та містить 6 таблиць.

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 показано актуальність застосування малопотужних автономних ВЕУ для генерування електричної енергії, проаналізовано процеси перетворення енергії та особливості відомих конструкцій. Зроблено також спробу класифікації малопотужних ВЕУ за 13-а ознаками. Особливу увагу зосереджено на системах керування, від якості яких залежить енергетична ефективність ВЕУ. Проаналізовано роботи, у яких пропонуються та досліджуються процеси генерування автономними ВЕУ теплової енергії. Сформовано завдання, які необхідно вирішити у дослідженні.

У другому розділі для вітроустановки з одним електромагнітним генератором з постійними магнітами розроблено математичні та відповідні комп'ютерні моделі турбулентного вітропотуку, вітроротора, генератора з системою векторного керування струмами якоря за допомогою транзисторного активного випрямляча напруги, системи автоматичного керування за електромагнітним моментом генератора. Новизною цього моделювання є врахування впливу на аеродинамічну характеристику вітроротора швидкості вітру, а також вплив на його механічний момент температури повітря.

У третьому розділі розроблено нову систему керування роботою малопотужною ВЕУ, яка побудована за комбінованим принципом регулювання електромагнітного моменту генератора за збуренням швидкості вітру та за відхиленням кутової швидкості генератора від оптимального значення. В системі враховано залежність роботи вітроротора від температури повітря та оптимальної точки його аеродинамічної характеристики від швидкості. Така залежність реалізована за допомогою нечіткого коректора коефіцієнта оптимального моменту генератора. Зроблено також аналіз систем stall- і feathering-регулювання.

У четвертому розділі досліджено три варіанти вітроелектротеплових установок. У двох варіантах тепла енергія генерується з попередньо генерованої електричної енергії шляхом підключення до обмоток якоря генератора термоелектричних нагрівачів (ТЕН). Запропоновано способи періодичного та імпульсного низькочастотного підключення ТЕНів. Для

кожного із цих способів розроблено математичні моделі та відповідні комп'ютерні програми в середовищі MathCad. У третьому варіанті вітроустановка оснащена електромагнітним та електротепловим генераторами на одному валу.

Розроблено математичні моделі усіх підсистем електротеплової установки та створено відповідні комп'ютерні моделі. Також розроблено дворівневу систему керування: на нижньому рівні – для оптимального керування тепловим генератором, а на верхньому – для керування енергопотоками із урахуванням споживання.

У п'ятому розділі дисертаційної роботи наведено результати експериментальних досліджень. Для їх проведення створено дослідний стенд з фізичним симулятором роботи вітротурбіни в турбулентному вітрі. Він імітує механічний момент вітроротора, який створюється керованим за моментом асинхронним двигуном. На стенді потужністю 1 кВт досліджувались дві установки з електричним генератором та одна електротеплова. Керування симулятором роботи вітроротора та усіма системами установки здійснювалося промисловим контролером. Результати експериментальних досліджень підтвердили працездатність усіх запропонованих в дисертаційній роботі рішень.

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

**Оцінка публікацій, автореферату та оформлення дисертації.** Основні результати дисертаційної роботи достатньо повно висвітлені в 11-и наукових працях. Кількість публікацій у фахових виданнях відповідає чинним вимогам. Результати дисертації пройшли належну апробацію на науково-технічних конференціях та семінарах.

Дисертація оформлена з дотриманням вимог, викладення матеріалів логічне та зрозуміле.

Зміст і основні положення автореферату в повній мірі відображають зміст дисертаційної роботи і мають з нею повну ідентичність.

#### **Зауваження до матеріалів дисертаційної роботи.**

1. Загальна комп'ютерна модель досліджуваної вітроустановки з вертикальною віссю обертання, розроблена у другому розділі і показана на рис.2.2, містить у своєму складі блок Mstart для формування значного стартового моменту на валу вітроротора з метою швидкого розгону його до

необхідної швидкості. Наявність цього блока обмежує область дослідження лише навантажувальними режимами. Залишаються поза межами режими пуску та зупинки. На малих швидкостях вітру існує велика імовірність втрати стійкості навантажувального режиму, а повторний пуск досліджуваної установки неможливий без використання акумуляторної батареї. Тому наведене в п.6 загальних висновків (стор.199) припущення про можливість виключення акумуляторних батарей зі складу вітроустановки потребує підтвердження.

2. При розробленні математичної моделі турбулентної складової вітрового потоку надто довільно вибрано обмеження низькочастотної складової пульсацій  $f=0,001$  Гц (стор. 60). Для нормованого 10-и хвилинного інтервалу часу на цій частоті неможливо отримати нульове значення математичного сподівання пульсової складової згідно рівнянь (2.4) та (2.7), що буде спричиняти похибку визначення середньої швидкості вітру, яка і спостерігається на осцилограмі швидкості турбулентного вітропотoku на рис.2.7.

3. Дослідження енергетичних показників вітроустановки в розділі 3 виконано для різних значень тривалості інтервалу часу (300с та 200с). Проте, для турбулентного вітрового потоку визначення середніх значень потужності та обсягу виробництва електроенергії необхідно виконувати для нормованого 10-и хвилинного інтервалу часу. Тому отримані в п.3.4.1 кількісні значення оцінки енергетичної ефективності не є остаточними і потребують корегування.

4. Тестування дослідного стенду вітроустановки та імітаційної комп'ютерної моделі виконувалось в режимі заряджання акумуляторної батареї. В залежності від режиму були отримані похибки струму в межах (18,1-3,8)%, що наведено в табл.5.1. Так як в процесі експерименту внутрішні параметри батареї могли змінюватись і не контролювались, то значення похибки моделювання визначити неможливо.

5. Осцилограма струму навантаження за імпульсного низькочастотного регулювання (рис.5.19) засвідчує наявність високочастотної завади в контурі вимірювання в безструмовий проміжок часу. Значення завади сягає рівня 20% від корисного сигналу. Вплив завади на результати вимірювання потребує коментування.

6. Зауваження до оформлення матеріалів дисертаційної роботи.

В передмові загальних висновків заявлено, що розроблені системи керування підвищують енергетичну ефективність вітроустановок та знижують

вартість. Проте питання вартості як самих вітроустановок, так і систем керування в роботі не досліджувалось.

Аналогічне зауваження стосується і припущення про енергетично найефективнішу конструкцію вітроустановки (п.1 загальних висновків).

*Зазначені вище зауваження мають дискусійний характер і не впливають на загальний позитивний висновок про роботу.*

### Висновок

Дисертаційна робота Щура Всеволода Ігоровича на тему «Енергоефективне керування вітроустановками малої потужності для генерування електричної і теплової енергії» є завершеною працею, в якій отримано нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності вирішують науково-прикладну задачу створення систем керування для нового класу малопотужних автономних електротеплових вітроустановок, які забезпечують їх високу енергетичну ефективність. 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 положення «Порядок присудження наукових ступенів», а її автор Щур Всеволод Ігорович заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальність 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи.

Офіційний опонент  
провідний науковий співробітник  
відділу гідроенергетики  
Інституту відновлювальної енергетики НАН України,  
д-р техн. наук, ст. наук. співр.

  
П.Ф. Васько

Підпис д-ра техн. наук П.Ф. Васька засвідчую.

Вчений секретар

Інституту відновлювальної енергетики НАН України  
канд. техн. наук  
16 травня 2017 р.



  
Т.В. Суржик