

ВІДГУК

офіційного опонента

доктора технічних наук Яхно Олега Михайловича

на дисертаційну роботу **Липового Віталія Миколайовича**

«ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ОРТОГОНАЛЬНИХ ВІТРОДВИГУНІВ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ ВІТРОВИХ ПОТОКІВ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ»,

що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати

Актуальність теми.

На сьогоднішній день у вітроенергетиці основне місце займають горизонтально-осьові вітроенергетичні установки. Для такого типу вітродвигунів накопичено великий досвід проектування та експлуатації, а у сучасних конструкціях реалізовано новітні досягнення науки та техніки. Подальше удосконалення та підвищення енергетичних параметрів даного типу конструкції ускладнюється за рахунок детально вивчених особливостей робочого процесу.

Найбільш перспективним шляхом подальшого розвитку вітроенергетики є розробка вертикально-осьових вітроустановок з ортогональним ротором. Враховуючи слабкі вітрові потоки України, даний тип вітродвигунів може стати вирішенням енергетичної проблеми для нашої місцевості, оскільки горизонтально-осьові вітроколеса характеризуються нестабільною роботою та низькою ефективністю при швидкостях вітру 3-4 м/с.

Головною особливістю ортогональних вітродвигунів є незалежність роботи від напрямку вітрового потоку, що дозволяє отримувати середньорічні показники потужності вітроустановок на ряду з горизонтально-осьовими. Оскільки дослідженням вертикально-осьових вітроколес займаються лише з 80-х років, то існує ряд науково-практичних невирішених задач пов'язаних з особливостями робочого процесу таких турбін.

В даній науковій роботі розглядається проблематика самозапуску ортогональних вітроколес та підвищення енергетичних показників. Запропоновані методи вирішення цих задач дозволяють високоефективно використовувати вітрові турбіни типу Дар'є на території України.

Враховуючи вищеназване, робота Липового В.М. є актуальною і присвячена вирішенню важливої науково-практичної задачі.

Ступінь обґрунтованості і достовірності наукових положень, висновків, рекомендацій.

Достовірність та обґрунтованість наукових положень дисертаційної роботи обумовлена наступним:

– використанням фундаментальних положень механіки рідини і газу, теорії турбомашин, за допомогою яких побудовані математичні моделі робочого процесу;

– коректною постановкою та застосуванням результатів чисельного експерименту з розрахунку аеродинамічних характеристик профільованих лопатей;

– експериментальні дані отримані здобувачем відповідно до загальноприйнятої методики проведення аеродинамічного експерименту з використанням новітніх засобів збору та аналізу даних.

Висновки і рекомендації засновані на детальному аналізі аналітичних результатів отриманих здобувачем і перевірені шляхом порівняння розрахункових даних з даними експериментальних досліджень.

В процесі виконання дисертаційної роботи здобувачем отримано **нові результати**, які доповнюють теорію робочого процесу вертикально-осьових вітротурбіни з профільованими лопатями аеродинамічної форми:

- уперше розроблено механізм впливу на енергетичні характеристики вітроколеса зміщенням трикутників швидкостей на поверхні лопаті шляхом введення допоміжного вектору швидкості;
- розроблено двоструминну математичну модель робочого процесу ортогонального вітродвигуна, що дозволяє спрогнозувати основні інтегральні характеристики турбіни з введенням допоміжного вектору швидкості в зону роботи вітроколеса;
- удосконалено метод аналітичного розрахунку ортогональних вітродвигунів шляхом визначення аеродинамічних характеристик профільованих лопатей числовим експериментом;
- визначено залежність стартового крутного моменту на валу вітроколеса від використання гнучких профільованих лопатей з різною величиною гнучкої поверхні.

Практичне значення.

Отримані в розглянутій дисертаційній роботі результати є практично значимими, в частині:

- визначення конструкції та геометричних параметрів гнучких лопатей парусного типу ;
- створення експериментального стенду з можливістю визначення крутного моменту та впливу на енергетичні показники ортогонального вітроколеса допоміжного вектору швидкості;
- розробці механізму впливу на робочий процес ортогонального вітродвигуна що дозволяє отримати максимально можливі показники потужності турбіни.

Результати дисертаційної роботи були впроваджені на підприємствах України, а також в навчальний процес вищого навчального закладу СумДУ (м. Суми).

Повнота викладу в опублікованих працях.

Апробація результатів роботи здійснена досить широко і повно у ряді науково-технічних конференцій різного рівня, в тому числі й міжнародних конференціях. Матеріали дисертації опубліковані у 5 статтях, 4 із яких опубліковані у фахових виданнях з переліку, затвердженому Міністерством освіти і науки, 1 – у зарубіжному виданні що входить до наукометричної бази Scopus, та 5 тез доповідей.

Оцінка змісту дисертації та автореферату.

Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертаційної роботи становить 130 сторінок. Дисертаційна робота містить 79 рисунків, 1 таблицю по тексту, 3 додатки на 6 сторінках, список використаних літературних джерел із 105 найменувань на 10 сторінках. Таким чином основна частина роботи складає 114 сторінок, що відповідає встановленим нормам обсягу.

У додатках представлені акти впровадження основних результатів роботи на промислових підприємствах України, та у навчальному процесі СумДУ.

У вступі обґрунтована актуальність проведеного дослідження, надається формулювання мети, задач дослідження, викладена наукова новизна і практична цінність представленої роботи. Структура представлення основних положень проведеного дослідження у вступі відповідає встановленим вимогам.

У першому розділі викладено порівняльний аналіз горизонтально-осьових вітрових турбін з вертикально-осьовими, ортогональними. Вказані переваги та недоліки кожної з конструкцій. Обґрунтовано, що при слабких вітрових потоках

середньорічна потужність ортогональних вітродвигунів має вищі показники ніж для горизонтально-осьових.

У розділі наведено сучасні конструкції вертикально-осьових вітрових турбін. Визначено, що більшість з них характеризуються поганим самозапуском. Виходячи з цього обґрунтовано доцільність додаткового дослідження робочого процесу ортогонального вітродвигуна з метою поліпшення цієї негативної ознаки.

Здобувач приводе опис існуючих методів прогнозування енергетичних показників ортогональних вітродвигунів. Для аналітичного розрахунку обирається імпульсна модель вітроколеса. Для перевірки працездатності аналітичного методу вирішено провести фізичний експеримент. Для цього приведено опис існуючих конструктивних схем аеродинамічних труб та обґрунтовано вибір відкритої аеродинамічної труби з закритою робочою зоною для даного дослідження.

Другий розділ присвячено проблемі самозапуску ортогональних вітрових турбін з лопатями аеродинамічної форми. Приведено основні методи підвищення стартового пускового крутного моменту. Особливої уваги потребують вітрові турбіни малої та середньої потужності. В даних конструкціях в процесі роботи число Рейнольдса має відносно низькі значення, що не дозволяє отримати необхідних величин тягової сили.

Здобувачем запропоновано використання гнучких симетричних лопатей парусного типу для збільшення крутного моменту за рахунок формування на гнучкій поверхні карману. Цей ефект дозволяє збільшити силу тиску вітрового потоку на поверхню лопаті при її русі «від потоку».

У розділі приведено прогноз поведінки даного типу лопатей при різних швидкостях вітроколеса та обґрунтована можливість вирішення питання самозапуску з використанням саме такого типу робочих органів.

У третьому розділі наведено детальний опис робочого процесу ортогонального вітродвигуна з лопатями аеродинамічної форми. Визначено природу виникнення перемінних у часі аеродинамічних сил та їх вплив на енергетичну характеристику вітроколеса. Для стабілізації тягової сили по всій коловій траєкторії руху лопаті видвинута гіпотезу про зміну кінематичних характеристик потоку перед лопаттю. В основу цієї гіпотези покладено умову постійності вектору відносної швидкості та кута атаки по всіх азимутальних кутах установки лопаті. Теоретично, даний підхід дозволяє отримати максимально можливу потужність з будь-якого вітроколеса.

Для аналітичного прогнозу впливу механізму зміни кінематичних характеристик потоку повітря перед лопаттю здобувачем розроблено

двострумину імпульсну модель вітроколеса. З її допомогою виникає можливість визначення додаткового вектору швидкості, який дозволяє змістити трикутники швидкостей на поверхні лопаті в бік певного значення вектору відносної швидкості.

Для вирішення математичної моделі необхідно володіти аеродинамічними характеристиками профільованих лопатей. Здобувачем вирішено дану задачу чисельним моделюванням обтікання потоком повітря твердої стінки. На більш простій задачі, обтіканні сферичного тіла, визначено вхідні параметри розрахункової області та математичну модель, що дозволяють отримувати доволі точні результати з відхиленням від експериментальних даних 5-7%. В подальшому практичні знання були перенесені на вирішення задачі обтікання профільованих лопатей. Отримані результати мають чітку подібність з експериментальними даними, що доведено порівняльним аналізом отриманих залежностей з лабораторними даними.

У четвертому розділі наведена методика фізичного моделювання робочого процесу ортогонального вітродвигуна, перелічено вимірювальну техніку та розраховано похибки прямих та непрямих вимірів.

Приведено експериментально отримані залежності значень коефіцієнту крутного моменту для гнучких симетричних лопатей парусного типу. Визначено, що кращими показниками характеризується лопать з половиною гнучкої поверхні за максимальною товщиною. На стартових режимах роботи вітроколеса з такими лопатями значення коефіцієнту крутного моменту досягають $C_m=0,47$, тоді як для жорстких лопатей ця величина не перевищує значення $C_m=0,1$. З цього зроблено висновок, використання парусних симетричних лопатей дозволяє покращити процес самозапуску вітроколеса та ліквідувати можливість виникнення «мертвої зони». Експериментальним шляхом доведено, що при розгоні вітрової турбіни гнучка лопать починає працювати як стандартний симетричний профіль про що свідчить спад коефіцієнту крутного моменту до величини $C_m=0,1$.

Здобувачем проведено ряд експериментальних досліджень по визначенню впливу допоміжного вектору швидкості на генеровану потужність вітроколеса. Введення даного вектору здійснювалося установкою різних типів екранів. Шляхом переміщення екрану по концентричній траєкторії до колової траєкторії руху лопаті вимірювалася потужність вітроколеса. Порівнюючи отримані значення з даними для вітроколеса без екрану визначено, що установка плоского екрану довжиною 120 мм під кутом 20° на азимутальному куті 36° дозволяє підвищити генеровану потужність вітроколеса у 2,5 рази.

Висновки по роботі. В роботі надано сім висновків, які узагальнюють висновки по розділах і підсумовують результати дослідження в цілому. Всі вони у логічному порядку вказують на основні результати дослідження, відображають успіхи здобувача у науковому пізнанні робочого процесу ортогональних вітродвигунів, аналітичного, чисельного та експериментального дослідження їх енергетичних характеристик.

Структура подання матеріалу в авторефераті відповідає встановленим вимогам. Основні положення дисертації викладені в авторефераті логічно, послідовно і ясно. Зміст автореферату об'єктивно відображає основні положення дисертації, розбіжностей між суттю дисертації і автореферату не виявлено.

Зауваження по роботі

1. При розробці математичної моделі не враховується вплив вихрового сліду однієї лопаті вітроколеса на іншу.
2. При проведенні фізичного моделювання робочого процесу ортогональної вітротурбіни, особливо в аеродинамічній трубі, бажано проводити планування експерименту, з метою підтвердження достовірності отриманих даних.
3. Бажано було б, на основі теорії пограничного шару провести обґрунтування доцільності використання запропонованих дисертантом лопатей з гнучкою поверхнею, з метою виявлення впливу деформованої поверхні на зрив потоку з лопаті.
4. В дисертаційній роботі не достатньо обґрунтовано практичне впровадження екрану для створення допоміжного вектору швидкості на промислових установках.

Висновок

Проведений аналіз змісту дисертації Липового В.М. «Підвищення енергетичних показників ортогональних вітродвигунів для використання вітрових потоків малої потужності», автореферату і публікацій дозволяє зробити такі висновки:

1. Дисертація є завершеною працею, в якій розв'язуються важливі науково-практичні задачі розвитку альтернативної енергетики, а саме вітроенергетики. Викладення матеріалу у тексті дисертації чітке і послідовне. Робота оформлена у відповідності до встановлених норм і вимог.

2. Тема роботи є актуальною, що обґрунтовано на початку відгуку і відповідає спеціальності 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати.

3. Наукова новизна і практична цінність одержаних здобувачем результатів мають місце і достатні для рівня кандидата наук.

4. Достовірність аналітичних результатів перевірена фізичним моделювання робочого процесу ортогонального вітродвигуна. Експериментальні дослідження проводилися відповідно основних вимог до аеродинамічного експерименту з використанням новітньої високоточної вимірювальної техніки.

5. Результати проведеного дослідження достатньо повно оприлюднені у публікаціях та апробовані перед науковцями.

6. Автореферат об'єктивно відображає зміст дисертації, його оформлення відповідає встановленим вимогам.

Вважаю, що висловлені зауваження не знижують важливості основних досягнень здобувача. Дисертацію Липового В.М. оцінюю позитивно. Робота є завершеною науковою працею і вносить вклад у теорію аеродинамічного розрахунку та проектування ортогональних вітродвигунів.

В цілому робота «Підвищення енергетичних показників ортогональних вітродвигунів для використання вітрових потоків малої потужності» повністю відповідає вимогам п. 9, 11 «Порядку присудження наукових ступенів ...» щодо кандидатських дисертацій в частині отримання нових знань про підвищення енергетичних показників вітрових турбін, а її автор Липовий Віталій Миколайович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати.

Офіційний опонент,
доктор технічних наук,
професор кафедри прикладної
гідроаеромеханіки і механотроніки
Національного технічного університету України
«Київського політехнічного інституту»

