

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Рожкевича Антона Олександровича

«Розробка удосконаленого методу розрахунку вітроенергетичних

агрегатів з вертикальною віссю обертання»,

подану на здобуття ступеня доктора філософії

за спеціальністю 113 Прикладна математика

Дана дисертаційна робота присвячена розробці й теоретичним дослідженням нового удосконаленого методу розрахунку вітроенергетичних агрегатів з вертикальною віссю обертання, а саме, роторів Дар'є, котрий ґрунтується на урахуванні змінності локального числа Рейнольдса набігаючого вітрового потоку при обтіканні елементів лопатей вітроустановки.

1. Актуальність обраної теми дисертації, її зв'язок з науковими програмами

Сучасний світ стикається з низкою глобальних проблем, які роблять вітроенергетику невід'ємною частиною стратегії забезпечення енергетичної безпеки та стійкості розвитку.

Одна з самих великих проблем 21-го століття. – це глобальна зміна клімату. Збільшення викидів парникових газів, спричинених спалюванням викопних палив, є основною причиною цієї проблеми. Енергія вітру надає можливість перейти до використання екологічно чистих джерел енергії та знизити залежність людства від викопних палив. Це зменшує викиди вуглекислого газу та інших шкідливих речовин, котрі супроводжують викопні палива сприяючи, таким чином, успіху у боротьбі зі зміною клімату.

Природні копалини палива, такі як нафта і природний газ, є обмеженими ресурсами, і їх запаси зменшуються з кожним днем. Енергія вітру, навпаки, забезпечує ресурсну стійкість і дозволяє гарантувати стабільне енергопостачання у майбутньому, попри обмеженість викопних ресурсів. Багато урядів країн світу визнають важливість розвитку вітроенергетики та надають різні види підтримки, включаючи фінансові стимули та податкові пільги. Це допомагає прискорити зростання цієї галузі та зробити її більш привабливою для інвесторів та підприємств.

Отже, тема «Розробка удосконаленого методу розрахунку вітроенергетичних агрегатів з вертикальною віссю обертання» є актуальною не лише з теоретичної точки зору, а й для забезпечення

технологічного та промислового розвитку. Даний тип вітроенергетичних агрегатів зручно використовувати в автономних системах енергозабезпечення, що на даний час, в умовах дефіциту електроенергії в Україні та її залежності від імпорту енергоносіїв, є дуже важливим.

2. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів, наданих у дисертаційній роботі

Судячи з представлених в дисертаційній роботі і в публікаціях автора матеріалів, результати розрахункових та теоретичних досліджень, які виносяться на захист, отримані автором самостійно. В спільних публікаціях дисертаційної роботи включені наступні теоретичні, аналітичні та графічні результати, отримані автором: постановки задач, чисельні методи їх розв'язання, результати їх реалізації на комп'ютері.

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій

Для побудови математичних моделей у дисертаційній роботі використовувалися загально прийняті у науці рівняння закону про зміну кількості руху при взаємодії суцільного середовища з твердими тілами. Обґрунтованість і достовірність одержаних результатів забезпечується коректністю постановок задач, використанням апробованих математичних моделей і достатньо точних методів розрахунку вітроенергетичних установок.

4. Ступінь новизни результатів, їх теоретичне та практичне значення

Нові результати дисертаційного дослідження полягають в наступному.

В дводисковій одноструменевій аеродинамічній моделі течії повітря навколо вітроагрегата вперше враховано наявність траверс як елементів вітроустановки у вигляді різних класичних симетричних профілів.

Розроблено нову, удосконалену порівняно з відомими раніше, методику розрахунку енергетичних характеристик ротору Дар'є з урахуванням залежності локальних аеродинамічних характеристик елементів лопаті від локального числа Рейнольдса, тоді як у попередній «класичній» дводисковій схемі розрахунку вертикально-осьових вітряних двигунів не враховується той факт, що окремі елементи лопаті обтікаються

кожен зі своєю відносною швидкістю набіжного потоку і тому кожен елемент лопаті має своє особисте локальне місцеве число Рейнольдса.

Створено програмний модуль для розрахунку вітрогенератора типу Дар'є, котрий дозволяє задавати тільки глобальні геометричні параметри вітроустановки та обирати профіль із вже опрацьованих, а саме: НАСА 0012, 0015, 0018, 0021, а також дозволяє додавати нові профілі – шляхом внесення аеродинамічних коефіцієнтів у вже створену базу аеродинамічних характеристик профілів.

Проаналізовано вплив на енергетичні характеристики вітрогенератора кута установки лопаті, кількості лопатей, довжини хорди профілю лопаті тощо.

Встановлено, що варіювання кута установки лопаті може бути рекомендовано для підвищення ефективності роботи осьових вітрогенераторів. Запропонована методологія може бути використана для подальших досліджень, пов'язаних з проектуванням та функціонуванням вертикально-осьових вітрогенераторів.

5. Практичне значення отриманих результатів

Представлені в дисертаційній роботі автора аналітичні вирази та програмні коди дають змогу дослідити вплив різних геометричних параметрів на роботу вітроустановки. Отримані теоретичні та аналітичні дані можуть бути взяті за основу при проведенні подальших експериментальних досліджень у галузі вітроенергетики.

Аналітичні рівняння та результати цієї роботи можуть бути впроваджені у навчальному процесі на кафедрі аерогідромеханіки та енергомасопереносу Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

6. Висновок про повноту опублікування основних положень дисертації

Результати проведених досліджень були піддані апробації та отримали позитивне визнання на наукових семінарах і на міжнародних та вітчизняних науково-практичних конференціях.

Основні результати дисертаційної роботи опубліковано в 9 друкованих працях, із яких 1 стаття в наукових фахових виданнях України категорії Б з фізико-математичних наук, 2 статті у фахових виданнях України, 2 статті в іноземних журналах, які індексуються в базі даних

SCOPUS. Додаткові результати опубліковано в 4 збірках матеріалів конференцій у формі тез доповідей.

Зазначені публікації достатньо повно розкривають основний зміст дисертаційної роботи.

7. Аналіз основного змісту роботи

У **першому розділі** цієї дисертаційної роботи коротко розглянуто наявну інформацію щодо зародження та історії розвитку вітроенергетичної галузі, підкреслено актуальність використання вітроенергетики в Україні. Сформовано переваги роторів Дар'є над іншими вітроустановками, наведено основні параметри вітроприводів. Проаналізовано декілька існуючих математичних моделей розрахунку вертикальних вітроустановок та відзначено, що основною перевагою імпульсних методів над методами чисельного інтегрування є відносна простота порівняно з використанням чисельних методів розв'язку диференціальних рівнянь Нав'є – Стокса, а також прийнятна точність визначення енергетичних характеристик вітроустановок.

У **другому розділі** дисертації наведено геометричні та кінематичні параметри елементів вітроенергетичної установки – лопатей і траверс. Побудовано систему рівнянь для зв'язку між швидкістю навітряної і підвітряної частин заданого об'єму вітрової турбіни згідно з дводисковою імпульсною теорією, враховуючи змінність числа Рейнольдса в залежності від положення лопаті та наявності траверсів як елементів вітроустановки у вигляді різних класичних симетричних профілів.

У **третьому розділі** представлено розрахунки енергетичних характеристик вітроприводу з урахуванням змінності локального числа Рейнольдса в залежності від використання різних класичних профілів НАСА. Надано розрахунки вітроприводу при різних геометричних параметрах вітроустановки, при цьому враховано можливий кут установки лопаті. Результати розрахунків показали, що передня кромка профілю має бути відхилена в середину вітроколеса, також коефіцієнт потужності вітроустановки при деяких геометричних параметрах вітрогенератора може збільшуватися в залежності від кута установки лопаті. Таким чином отримано, що кут установки лопаті є перспективним інструментом для управління продуктивністю вітроустановки з вертикальною віссю оберт.

У **висновках** сформульовано основні теоретичні результати дослідження проблеми врахування змінного числа Рейнольдса для розрахунків енергетичних характеристик вертикально-осьових вітрогенераторів, проаналізовано вплив кута установки лопаті, геометрії

вітрогенератора, визначено діапазони їх зміни, що може мати практичний інтерес.

8. Оцінка структури дисертації, мови та стилю викладення

Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, трьох розділів, висновку й списку літератури, який містить 81 найменування. Також робота містить 4 додатки. Загальний обсяг дисертації – 158 сторінок, 77 рисунків.

Текст дисертації написано українською мовою з використанням сучасної наукової термінології. Викладення матеріалу в роботі є логічним та відповідає вимогам наукових праць, а зміст роботи висвітлює основні результати наукових досліджень.

9. Зауваження щодо змісту дисертації

По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:

1. У дисертації варто було б, на нашу думку, привести схеми декількох існуючих просторових конфігурацій роторів Дар'є з траверсами для прояснення форми досліджуваних областей течії.

2. В роботі не пояснено, чим обумовлено вибір саме 4 симетричних профілів НАСА: 0012, 0015, 0018, 0021 при формуванні автором бази даних по профілях і їх характеристиках.

3. Не вказано, які існують можливості для розширення наявної бази даних по профілях, чи можуть бути використані профілі з вигином середньої лінії.

4. Загальна залежність аеродинамічних коефіцієнтів від кута атаки для профілю НАСА 0018 не може бути відновлена через обмежений діапазон зміни кутів атаки відповідно до рис. 2.7, 2.8.

5. Це зауваження частково виходить за рамки даної дисертаційної роботи, проте в майбутньому слід зіставити розрахункові значення енергетичних характеристик вітроустановок з експериментальними даними.

Зазначені зауваження не знижують загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

10. Відповідність дисертації спеціальності, за якою вона подається до захисту

Дисертаційна робота Рожкевича Антона Олександровича на тему «Розробка удосконаленого методу розрахунку вітроенергетичних агрегатів

з вертикальною віссю обертання» повністю відповідає спеціальності 113 Прикладна математика.

11. Загальні висновки

Викладене демонструє, що дисертаційна робота Рожкевича Антона Олександровича є результатом самостійного та завершеного наукового дослідження. Вона характеризується актуальністю обраної теми, науковою новизною та чіткими висновками. Тематика роботи повністю відповідає спеціальності 113 Прикладна математика.

Вважаю, що дисертаційна робота Рожкевича Антона Олександровича, представлена на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 Прикладна математика, відповідає встановленим вимогам відповідно наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (Постанова Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 р. зі змінами від 21.03.2022), а її автор Рожкевич Антон Олександрович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 Прикладна математика.

Офіційний опонент,

доктор технічних наук,
старший науковий співробітник,
провідний науковий співробітник
відділу динаміки гідромеханічних
і віброзахисних систем Інституту
технічної механіки
Національної академії наук
України і Державного космічного
агентства України



Юрій КВАША

Підпис Юрія КВАШИ засвідчую:

Учений секретар Інституту
технічної механіки
Національної академії наук
України і Державного космічного
агентства України,
кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник



Людмила ЛАПІНА