

## 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

**Актуальність обраної теми.** У наш час, коли світ спрямовується на стале зростання технологій та активно дбає про екологічні питання, вітроенергетика виступає як невід'ємна частина стратегії забезпечення сталого енергетичного майбутнього. Україна, що має значний потенціал для вітроенергетики, не залишається осторонь цього глобального напрямку.

Однією з ключових переваг вітроенергетики є її природоохоронний характер. Використання вітряної енергії не супроводжується викидами парникових газів та інших забруднюючих речовин, сприяючи зниженню негативного впливу на зміну клімату. Умови для розвитку цієї форми виробництва енергії в Україні є дуже вигідними, зокрема в південних та західних областях, де велика кількість вітряних ресурсів надає можливість використовувати цей потенціал для задоволення енергетичних потреб країни.

Запровадження вітроенергетики сприятиме і розвитку місцевого бізнесу та привертанню інвестицій. Створення вітроелектростанцій та виробництв компонентів для вітроенергетичних установок сприятиме створенню нових робочих місць та розвитку високотехнологічного сектору.

Ще однією перевагою вітроенергетики є зменшення залежності від імпортованих джерел енергії та різноманіття енергопостачання. Розширення вітроенергетики дозволить Україні стати менш залежною від зовнішніх ресурсів та більш стійкою до коливань на світових енергетичних ринках.

В кінцевому підсумку, розвиток вітроенергетики в Україні вирішує не лише завдання сталого енергопостачання, а й відкриває нові можливості для

соціального та економічного прогресу. Активізація цієї галузі є необхідною для досягнення гармонії між потребами сучасного суспільства та відповідальним відношенням до навколишнього середовища.

Дисертаційна робота Рожкевича Антона Олександровича «Розробка удосконаленого методу розрахунку вітроенергетичних агрегатів з вертикальною віссю обертання» присвячена теоретичним дослідженням нового удосконаленого методу розрахунку вітроенергетичних агрегатів з вертикальною віссю обертання, – ротору Дар'є. Цей ротор цікавий тим, що його робота не залежить від напрямку вітру і його зручно використовувати для автономного споживання.

**Наукова новизна отриманих результатів.** У дисертаційному дослідженні здобувачем отримано низку важливих наукових результатів. Зокрема:

- враховано вплив змінності локального числа Рейнольдса обтікання елементів лопаті, котре змінюється від положення лопаті у вітроколесі та відносної швидкості набігання вітрового потоку безпосередньо на кожний елемент лопаті в зоні окресленого об'єму у вітроколесі;
- оброблено великий обсяг атласу аеродинамічних коефіцієнтів класичних профілів NASA 0012, 0015, 0018 та 0021 при різних числах Рейнольдса та створено базу даних для програмного розрахунку енергетичних характеристик ротору при змінному числі Рейнольдса;
- в дводисковій аеродинамічній моделі вперше врахована наявність траверси як елемент вітроустановки у вигляді різних класичних симетричних профілів.

**Практичне значення отриманих результатів.** Отримані аналітичні вирази та програмні коди допомогли 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.

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати дисертації отримані автором самотійно. 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. Слід зазначити, що одна з наукових статей опублікована в журналі, віднесеному до другого квартилю відповідно до класифікації SCImago Journal на момент опублікування.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та їх достовірність.** Обґрунтованість та достовірність результатів дисертаційного дослідження забезпечується коректністю математичних постановок задач, використанням апробованих законів та співвідношень аерогідромеханіки, використанням апарату математичного моделювання процесів обтікання вітрового потоку лопатей вітроенергетичних установок. Отримані результати не суперечать розрахункам роторів за класичними методами.

Обґрунтованість висновків та рекомендацій забезпечується тим, що вони безпосередньо впливають із отриманих аналітичних та числових результатів дисертаційної роботи. Основні положення дисертаційної роботи апробовані виступами (та отримали підтримку) на наукових конференціях і семінарах різних рівнів.

У цілому можна вважати, що наукові положення, висновки та підходи, розвинуті в дисертації, є достатньо обґрунтованими та достовірними, оскільки ґрунтуються на глибокому порівняльному аналізі досліджуваних явищ та узгодженням отриманих результатів з роботами інших авторів.

**Аналіз змісту дисертації.** 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.

У першому розділі виконано короткий нарис про основні показники енергоефективності роботи вітроустановки, наведено способи розрахунку даного типу ротору: проаналізовано ряд існуючих моделей для розрахунку вертикально – осьового вітродвигуна та отримано, 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 показані переваги ротора Дар'є перед іншими типами вітрових турбін.

У другому розділі показано реалізацію дводискової імпульсної теорії, що зводиться до наступного алгоритму: сили, що діють на лопаті та траверси, з одного боку, виражаються через аеродинамічні коефіцієнти профілів лопаті та траверс (розраховуються за місцевими кутами атаки та місцевими відносними швидкостями, які заздалегідь невідомі); з іншого боку – ці ж самі сили виражаються за допомогою теореми імпульсів. Прирівнявши вирази для сил, отриманих вказаними двома способами, для кожного з активних перерізів, ми отримали систему двох трансцендентних рівнянь, з якої знаходяться величини так званих індукованих швидкостей потоку.

У третьому розділі представлено розрахунок енергетичних характеристик вітродвигуна з урахуванням змінності локального числа Рейнольдса в діапазоні  $Re = 10^4 \div 5 \cdot 10^6$  в залежності від використання різних класичних профілів НАСА: 0012, 0015, 0018 та 0021. Дисертантом представлені розрахунки вітродвигуна при різних геометричних параметрах вітроустановки, при цьому враховано можливий кут установки лопаті. Автором було отримано, що варіювання куту установки лопаті є ефективним інструментом для збільшення знімання енергії з вітрового потоку.

Кожен з розділів завершується формулюванням проміжних висновків дослідження. У загальних висновках до дисертації наведено узагальнюючі результати роботи.

В цілому дисертація є завершеною науковою працею, яка виконана на високому науковому рівні, відповідає вимогам академічної доброчесності та відображає розв’язання важливої задачі математичного моделювання. Вона характеризується цілісністю і логічністю викладу матеріалу дослідження та оформлена відповідно до вимог Міністерства освіти та науки України, що висуваються до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 Прикладна математика.

#### **Зауваження до дисертаційної роботи:**

1. Коефіцієнти потужності та моменту ( ст. 29) залежать не тільки від характерного числа  $\lambda$ , але ще й від масштабного ефекту, що проявляється

в їх залежності від числа Рейнольдса. Проте до формули (1.5) не дається пояснення, що обрано за характерний розмір.

2. На ст.32 сказано, що самим складним методом з дослідження руху газу є числове розв'язування рівнянь Нав'є-Стокса. Слід було б акцентувати увагу на те що рух газу є турбулентним. Для його дослідження використовують осереднені за Фавром, або Рейнольдсом рівняння Нав'є-Стокса. Осереднені рівняння Нав'є-Стокса є незамкнутими. На сьогодні відсутня універсальна математична модель турбулентності, як фізичного явища. Використовуються емпіричні підходи. Вважається, що пряме числове моделювання рівнянь Нав'є-Стокса стане можливим в кінці нинішнього століття.

3. В розділі 2.8 (ст.62) викладено методика розрахунку енергетичних характеристик вітроустановки з урахуванням залежності аеродинамічних характеристик елементів профілів лопатів від числа Рейнольдса. Слід було б надати пояснення що розуміється під місцевим числом Рейнольдса

4. Автором кваліфікаційної наукової праці розроблено удосконалені методики, алгоритми, програмне забезпечення з розрахунку характеристик вітроенергетичних агрегатів з вертикальною віссю обертання. Проте автор не приводить результати тестових розрахунків. Слід було б присвятити один з розділів тестовим розрахункам для визначення точності та меж використання розроблених методик та програмного забезпечення.

Зазначені недоліки не стосуються актуальності проведених досліджень, наукової новизни, достовірності та практичної цінності отриманих результатів і тому не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи у цілому.

### **Загальна оцінка роботи та висновок.**

Дисертаційна робота є цілісною завершеною кваліфікаційною науковою працею, отримані результати та висновки повністю відповідають меті та поставленим завданням. Зміст роботи повністю відповідає спеціальності 113 Прикладна математика.

За актуальністю, змістом, науковою новизною, обґрунтованістю висновків, прикладним значенням отриманих результатів та відсутністю ознак порушення здобувачем академічної доброчесності, вважаю, що дисертаційна робота «Розробка удосконаленого методу розрахунку вітроенергетичних агрегатів з вертикальною віссю обертання» відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» (з наступними змінами) та «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України №44 від 12 січня 2022р., а її автор, Рожкевич Антон Олександрович, заслуговує присудження йому ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 Прикладна математика.

Офіційний опонент,  
доктор технічних наук,  
професор, професор кафедри  
транспортних технологій  
та міжнародної логістики  
Університету митної справи  
та фінансів



Анатолій СОХАЦЬКИЙ

Підпис Анатолія СОХАЦЬКОГО засвідчую:

*Учений секретар Університету  
митної справи та фінансів  
Коринна Т.В.*

