

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

Рожкевича Антона Олександровича

«Розробка удосконаленого методу розрахунку вітроенергетичних

агрегатів з вертикальною віссю обертання»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

за спеціальністю 113 Прикладна математика

Актуальність тематики дослідження

Важливість вітроенергетики в сучасному світі важко переоцінити. Це пов'язано з тим, що цей вид виробництва енергії має величезне значення для сталого розвитку та ефективного використання ресурсів. Вітроенергетика відноситься до категорії відновлюваних джерел енергії. Це зменшує залежність від традиційних джерел енергії, таких як вугілля та газ, і допомагає боротися зі зміною клімату. Виробництво електроенергії з вітрових турбін допомагає зменшити викиди парникових газів, таких як вуглекислий газ. Вітрові турбіни можуть виробляти велику кількість електроенергії за низьких операційних витрат і конкурувати на енергетичному ринку. Інвестиції у вітроенергетику сприяють технологічному розвитку галузі. Технічні характеристики вітрових турбін покращуються з кожним роком, що робить цей вид енергії ще більш привабливим та ефективним.

Загалом, вітроенергетика є важливим інструментом для створення стійких і чистих енергетичних систем, які відповідають екологічним, економічним і соціальним викликам сучасного світу.

Щодо України, то сфера вітроенергетики дозволяє знизити залежність постачання енергоносіїв від інших країн, особливо в такий важкий час в умовах жорсткого енергодефіциту.

Дисертаційна робота Рожкевича Антона Олександровича «Розробка удосконаленого методу розрахунку вітроенергетичних агрегатів з вертикальною віссю обертання» присвячена створенню нового аналітичного удосконаленого методу розрахунку з урахуванням змінності числа Рейнольдса кожного елемента ротору Дар'є.

Ступінь обґрунтованості результатів, їх наукова новизна

У дисертаційній роботі А.О. Рожкевича отримані такі наукові результати:

- у отриманій дводисковій імпульсній моделі було вперше враховано наявність траверси як елемент вітроустановки у вигляді різних класичних симетричних профілів;
- створено програму, котра дозволяє отримати основні показники енергоефективності вітроустановки при внесенні у програму

геометричних параметрів ротору, швидкості набіжного потоку повітря та обрання профілю із вже внесених у базу даних;

- створена програма має опрацьовану базу даних аеродинамічних характеристик симетричних профілів NASA 0012, 0015, 0018 та 0021 при різних діапазонах чисел Рейнольдса: $Re = 10^4 \div 5 \cdot 10^6$.
- створена програма дозволяє вносити аеродинамічні коефіцієнти нових профілів для розрахунку;
- програма розраховує число Рейнольдса кожної лопаті в залежності від «пом'ятої» швидкості потоку повітря безпосередньо біля лопаті та положення елементу лопаті в залежності від азимутального кута, у цьому і полягає **новизна** дисертаційної роботи – урахування змінності числа Рейнольдса.

Структура і зміст дисертаційної роботи

Дисертаційна робота А.О. Рожкевича є логічно побудованим дослідженням, що послідовно описує новий удосконалений підхід розрахунку вітроустановки типу Дар'є.

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.

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

У вступі дисертації зазначено мету дослідження (ст.16), що являє собою удосконалення вже існуючого методу розрахунку – дводискової імпульсної теорії за допомогою урахування змінності числа Рейнольдса. Зокрема, автор роботи бере за мету проаналізувати вже існуючі методи розрахунку. Цей аналіз подано у **першому розділі**, де стає відомо, що даний час відомо ряд методів аеродинамічного розрахунку вітроустановки, котрі в порядку зростання складності та точності можна розділити на дві групи. До першої групи належать різні варіанти імпульсних дискових теорій, успадковані від теорії вітроколеса пропелерного типу. До другої групи методів належать методи чисельного інтегрування рівнянь руху газу у різних постановках. Автор показує, що перевагою імпульсного методу є їхня відносна простота, достатньо добра швидкість розрахунку на комп'ютері, порівняно с другою групою методів розрахунку, та прийнятна точність визначення енергетичних характеристик вітроустановки. До недоліків цих методів слід віднести неможливість урахування прямого взаємного впливу лопатей на їхні власні аеродинамічні характеристики (хоча опосередкований вплив на енергетичні характеристики враховується).

У **другому розділі** сформовано систему рівнянь дводискової імпульсної теорії, було розглянуто геометричні та кінематичні параметри елементів вітроустановки лопаті та траверси, отримано систему рівнянь зв'язку швидкостей у навітряній та підвітряній частинах окресленого об'єму вітроколеса. **Новизна** отриманої сформованої системи рівнянь полягає у тому, що у цих рівняннях враховується наявність траверс як симетричних профілів. Автор наголошує, що при використанні похилих траверс є більш

вигідним рішенням при проектуванні ротору, аніж використання звичайних горизонтальних, т.я. горизонтальні «гальмують» роботу вітроустановки.

Також у цьому розділі автором показано повне виведення системи рівнянь для розрахунку поля швидкостей повітряного потоку у вітроколесі, а саме у підвітряній та навітряній частинах вітроколеса. Система являє собою інтегральні залежності зі складною формою підінтегральної функції. Ця система може у деякому діапазоні чисел може не сходитися до розв'язку, тож автором на цей випадок також було викладено однодискову імпульсну теорію.

У **третьому розділі** показано безпосередньо сам розрахунок енергетичних характеристик вітроустановки з урахуванням залежності аеродинамічних характеристик профілів лопатей від локального числа Рейнольдса. Надано розрахунки вітродвигуна при різних геометричних параметрах вітроустановки, при цьому враховано можливий кут установки лопаті та його вплив на енергетичні характеристики ротора.

Повнота наукових положень дослідження у дисертації та публікаціях

У дисертації А.О. Рожкевича сформульовані завдання, необхідні положення та повністю розкрито їх зміст відповідно до тематики дослідження. Вони відображені у п'яти наукових публікаціях, дві з яких індексується у міжнародній наукометричній базі SCOPUS. Зазначені публікації з достатньою повнотою розкривають основний зміст дисертаційної роботи. Також дисертантом апробовано результати на чотирьох конференціях з очною та дистанційною формою участі.

Практичне значення наукових результатів

Отримані результати можна порівнювати з експериментами - тобто штучно створеними рівномірними повітряними потоками вітру на подібні за розмірами моделями вітроустановок у різних лабораторіях світу. Архітектура програмного модулю забезпечує достатню гнучкість у її роботі стосовно її масштабування, доповнення, зміни, тощо.

Відомості про дотримання академічної доброчесності

Ознайомившись із науковими публікаціями та дисертацією А.О. Рожкевича, відзначимо відсутність порушень академічної доброчесності.

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.

Зауваження до дисертації

Хоча дисертаційне дослідження загалом виконане на достатньо високому рівні, можна вказати декілька зауважень:

1. Автор обмежився застосуванням лише симетричних профілів, не дослідивши несиметричні профілі, було б цікаво подивитися у цьому випадку ефект змінності числа Рейнольдса.

2. На рис. 2.7 та рис. 2.8 на графіках коефіцієнтів сили лобового опору c_x та підйомної сили c_y при різних числах Рейнольдса слід вказувати у формулі числа Рейнольдса $Re_0 = \frac{V_0 l}{\nu}$ не саму швидкість набіжного потоку V_0 , а саме відносну швидкість W у вітроколесі, тобто формула повинна мати вигляд $Re_0 = \frac{|W|l}{\nu}$. Саме такий вид формули у цьому випадку не буде плутати читача щодо неконкретного числа Рейнольдса, а змінного.

3. У випадку горизонтальної траверси, а саме у зміні довжини хорди траверси уздовж r за лінійним законом, вираз (2.62), слід було б дати розгорнутий вигляд виразу сили $X_{1,2mp}^{zop}$, вираз (2.63).

4. При розрахунку моменту аеродинамічних сил, що діють на елементи лопаті слід було враховувати, що аеродинамічна сила $d\vec{F}$, що діє на профіль в центрі тиску профілю, яка знаходиться на відстані l_0 від середини хорди N . У розрахунках автором було прийнято, що $l_0 = 0$, хоча у виразі (2.33) останній доданок враховує цей ефект.

5. У тексті дисертації зустрічаються окремі граматичні та синтаксичні помилки, проте їх незначна кількість не впливає на сприйняття матеріалу читачем.

Вказані зауваження та окреслені недоліки не впливають на загальну високу оцінку одержаних науково-прикладних результатів.

Загальні висновки

Дисертація Рожкевича Антона Олександровича на тему «Розробка удосконаленого методу розрахунку вітроенергетичних агрегатів з вертикальною віссю обертання», яка подана на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 Прикладна математика, є завершеним самостійним науковим дослідженням.

Отримані результати дають міцний фундамент для подальших досліджень у плані вивчення та створення бази даних аеродинамічних коефіцієнтів несиметричних профілів та порівняння результатів розрахунку з експериментами подібних за розмірами моделей установок у лабораторіях різних країн світу.

Вважаю, що за новизною, актуальністю, обсягом та практичним значенням дисертація відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «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 2022 р., а її автор, Рожкевич Антон Олександрович, заслуговує присудження йому ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 Прикладна математика.

Рецензент –
кандидат фізико - математичних
наук, доцент, доцент кафедри
аерогідромеханіки та
енергомасопереносу
Дніпровського національного
університету імені Олеся
Гончара



Юлія БРАЗАЛУК

Підпис Юлії БРАЗАЛУК засвідчую:

Вчений секретар вченої ради
Дніпровського національного
університету імені Олеся Гончара,
кандидат фізико-математичних
наук, доцент



Тетяна ХОДАНЕН