

кордону / В.А. Сівак // Збірник наукових праць НАДПСУ. Серія: військові і технічні науки: наукове видання. – Хмельницький : Видавництво НАДПСУ, 2015. – № 2(64). – С. 76–82.

7. Оссовский С. Нейронные сети для обработки информации / Станислав Оссовский ; пер. с пол. И. Д. Рудинского. – М. : Финансы и статистика, 2004 (Великолук. гор. тип.). – 343 с.

8. Плахтеев А.П. Архитектура вычислительных средств мехатронных систем на автомобильном транспорте / А.П. Плахтеев // Автомобильный транспорт в XXI веке : материалы международной научно-технической конф. – Харьков, 2003. – С. 68–70.

9. Гурко А.Г. Перспективы использования нечеткой логики в системах управления движением транспортными средствами / А. Г. Гурко // Автомобильный транспорт в XXI веке : материалы международной научно-технической конференции. – Харьков, 2003. – С. 66–68.

10. Димитров В.П. Особенности построения функций принадлежности лингвистических переменных предметной области «Технологическая настройка / В.П. Димитров, Л.В. Борисова // Вестник ДГТУ. – Ростов-на-Дону, 2005. – Т. 5. № 5(27). – С. 653–660.

11. Тарасик В.П. Интеллектуальные системы управления транспортными средствами / В. П. Тарасик, С. А. Рынкевич. – Минск : УП «Технопринт», 2004. – 512 с.

Рецензія/Peer review : 15.11.2015 р.

Надрукована/Printed : 6.12.2015 р.

Рецензент: д.т.н., професор Андрощук О.С.

УДК 621.22

С.А. РУСАНОВ, Д.О. ДМИТРИЄВ, О.О. ЛОБОВ, П.П. РЕМІЗОВ

Херсонський національний технічний університет

ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕУ «КАСКАД-3» І ЗМІШАНІ ЗАДАЧІ В АЛЬТЕРНАТИВНІЙ ЕНЕРГЕТИЦІ

В статті розглянуто питання, пов'язані з моделюванням аеродинаміки вітроенергетичної установки «КАСКАД-3». За запропонованою авторами методикою розрахована прогнозована потужність обладнання. Отримана картина розподілення моментів на валу установки, отримані характеристики обладнання. В статті обговорюється питання класифікації аналогічних зовнішніх, внутрішніх та змішаних задач гідро- та аеродинаміки. Детально розглядається методика чисельних розрахунків – від виділення доменів до формування сітки геометрії. Результат співставляється з експериментальними даними.

Ключові слова: аеродинаміка, вітроенергетика, моделювання.

S.A. RUSANOV, D.O. DMITRIEV, O.O. LOBOV, P.P. REMIZOV

Kherson National Technical University

ENERGY CHARACTERISTICS WIND POWER INSTALLATIONS "CASCADE-3" AND THE MIXED PROBLEM IN THE ALTERNATIVE ENERGY

The article deals with issues related to the modelling of aerodynamics wind power installations "CASCADE-3." The projected capacity of the equipment is calculated with a help of method proposed by the authors. The result is the distribution of points on the shaft installations, equipment specifications are obtained. In discussing the problem there are classification of similar problems as external, internal and mixed problems hydro- and aerodynamics. The technique of numerical calculations is considered in detail – from the selection of domains to form mesh geometry. The result is compared with experimental data.

Keywords: aerodynamic, wind power installations "CASCADE-3", modelling.

Вступ. Вітроенергетика в розвинених країнах відіграє значну роль як частина енергетичних систем, при цьому в деяких країнах вона є однією з головних складових альтернативної енергетики [1]. Відомо [2], що одною з найбільших перешкод для використання вітроенергетичних установок (ВЕУ) є їх висока вартість. Широкий спектр типів ВЕУ передбачає значні витрати ще на проектних етапах, а в питомих показниках це особливо помітно для малих ВЕУ, де відношення до вартості виготовлення дослідних зразків буде значним. Вартість проектних робіт можна знизити за рахунок використання чисельних розрахунків в системах, які цільовим чином призначені для розрахунків ВЕУ [3], так і в універсальних CFD програмах, таких як ANSYS CFX, ANSYS Fluent, Autodesk Simulation CFD, Comsol Multiphysics та ін.

Крім того, багато задач вітроенергетики представляють не тільки практичний, але і теоретичний інтерес. Наприклад, відомо про поділ гідро- і газодинамічних задач на зовнішню, внутрішню і змішану [4], при цьому змішана задача розуміється як рух рідини або газу всередині каналів складної форми з одночасним обтіканням тіл. Змішана задача зазвичай розглядається стосовно до руху рідини крізь, наприклад, зернистий шар твердого матеріалу, коли вона переміщується як всередині каналів між частинками, так і одночасно обтікає тверді частинки – ці умови спостерігаються в процесах фільтрування, масопередачі в апаратах з насадками і т. д. Однак умови для змішаної задачі спостерігаються і в галузі альтернативної енергетики при роботі заглиблених вільнопотокових осьових лопатевих турбін для малих і мікро ГЕС [5], при роботі ВЕУ з повітряно-відвідними пристроями (дифузорному, конфузорному, комбінованими) [1]. У таких пристроях основний потік розділяється на дві складові – внутрішню, що

проходить безпосередньо через установку, і зовнішню, яка її обтікає.

Постановка задачі. Єдиної методики розрахунку зазначених вище пристроїв не існує, що обумовлено не тільки складністю завдання, але й широким переліком обладнання, яке відповідає зазначеній галузі. В [5] нами була запропонована методика чисельного моделювання стосовно до занурених гідродинамічних пристроїв. Представляють інтерес відповідні розрахунки для проблем ВЕУ, в яких реалізується змішана задача.

Викладення основного матеріалу. Далі представлені результати застосування подібних розрахунків в рамках науково-дослідної роботи "Розрахунок очікуваних показників потужності оригінальної повітряної енергоустановки каркасного типу "КАСКАД-3", проведеної на кафедрі «Основи конструювання» Херсонського національного технічного університету, з теоретичними розрахунками за договором ГР №02/14 по компоновці і розмірам замовника. Вітроенергетична установка являла собою каркасну конструкцію вертикально-осьового типу з конфузормим повітропровідним пристроєм (розробник Ремізов П.П. [6]). Загальна задача була розбита на кілька етапів: спрощена 2D модель використана для отримання початкових базових даних по роботі ВЕУ, 2D модель з вільним простором навколо ВЕУ, повна 3D модель ВЕУ. Розрахункова область для останніх двох випадків складалася з трьох підобластей: вільного простору навколо ВЕУ, внутрішнього стаціонарного простору ВЕУ і кругової області, що охоплює лопатки, для завдання обертового розрахункового домену. Додатковими розрахунками була також зроблена оцінка аеродинамічного опору корпусу ВЕУ з конфузорм без врахування обертового домену. Розрахункова сітка для повної 3D моделі ВЕУ налічувала понад 3 млн. осередків, сіткова незалежність була перевірена шляхом виконання розрахунків для одного з режимів на більш густій і більш розрідженій сітках. Використовувалася стандартна $k-\epsilon$ модель турбулентності з масштабованими пристінковий функціями. Граничні умови враховували специфіку завдання: на вході в розрахункову область задавалася середня швидкість набігаючого повітряного потоку, задавалися також умови симетрії для центральної частини, вихід в атмосферу. На стінках задавалася гранична умова No Slip Wall.

Відповідно до розрахункової методики [5] початковий розрахунок проводився для нульової кутової швидкості ротора (примусове заклинювання ротора), з метою визначення максимальних моментів, що діють на вісь ротора. Розрахунок показав значну чутливість рішення до поточного куту повороту ротору барабану (рис. 1, від'ємні значення моменту відповідають необхідному напрямку обертання), що характерно для вертикально-осьових вітроустановок.

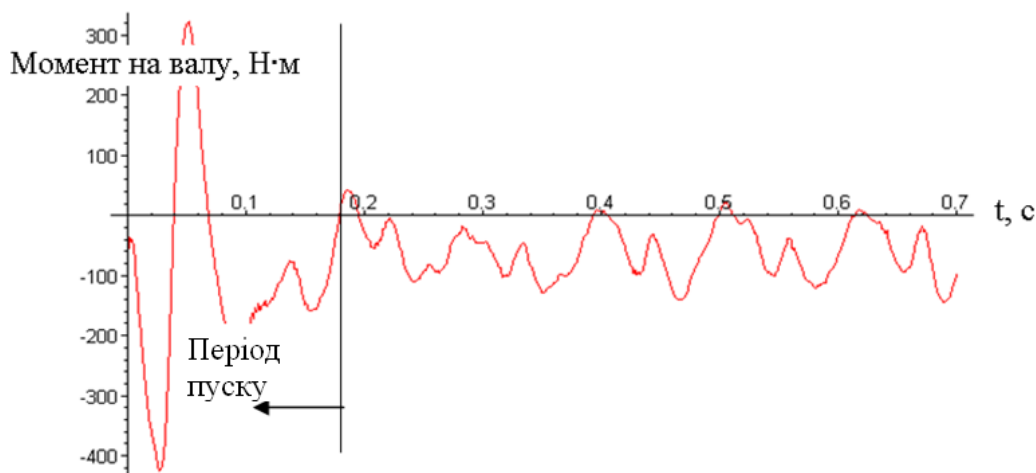


Рис. 1. Результати розрахунку крутного моменту на вісі установки.

Подальші розрахунки проводилися для різних швидкостей рівномірного обертання барабану. Розрахунки велися в нестационарній постановці з отриманням анімації полів швидкостей і тисків у ВЕУ. Шляхом апроксимації отриманих середніх моментів було визначено потужності, які можливо зняти з одного барабану (характеристика установки) – рис. 2.

Отримане різке зниження моменту при певних обертах свідчить про нестійкість обертання в цій області і наявності ефекту затиснення. Якісно картина течії є досить складною з утворенням великомасштабних вихорів за конфузорм з повітропроводом. Необхідно підкреслити, що робота конфузора у відкритому потоці принципово відрізняється від аналогічних звужень каналів для внутрішньої задачі (наприклад, в трубах Вентурі) – у середовища є можливість обійти гідродинамічну перешкоду, якою є ВЕУ. Були проведені додаткові серії чисельних розрахунків, які показують деяке збільшення швидкості потоку в провітрі ВЕУ для даної 3D задачі (у зв'язку з симетрією моделювалася $\frac{1}{4}$ частини установки), при цьому для виявлення принципової можливості підвищення швидкості потоку розрахунки проводилися без врахування лопаток. Для діапазону швидкостей набігаючого потоку від 5 до 12 м/с швидкість в провітрі збільшувалася приблизно в 1,8 рази, що відповідає даним [1], де очікуване підвищення швидкості складає 1,5 ... 1,8 разів. Однак подальшим моделюванням (з вітроколесом і лопатками в окремому обертовому домені) встановлено значний вплив лопаток і миттєвого кута повороту турбіни, як місцевого опору складної форми, на розподіл

полів швидкостей і тиску в зоні конфузору. Розрахунок повної 3D моделі для змішаної задачі дозволив співставити результати з експериментальними даними вимірювання швидкості повітря чашковими анемометрами моделей МС-13 ГОСТ 6376-74 і АРІ-49 ГОСТ7193-74 при роботі прототипу. Проведені експериментальні дослідження розподілу швидкостей підтвердили розрахункові дані по обтіканню ВЕУ.

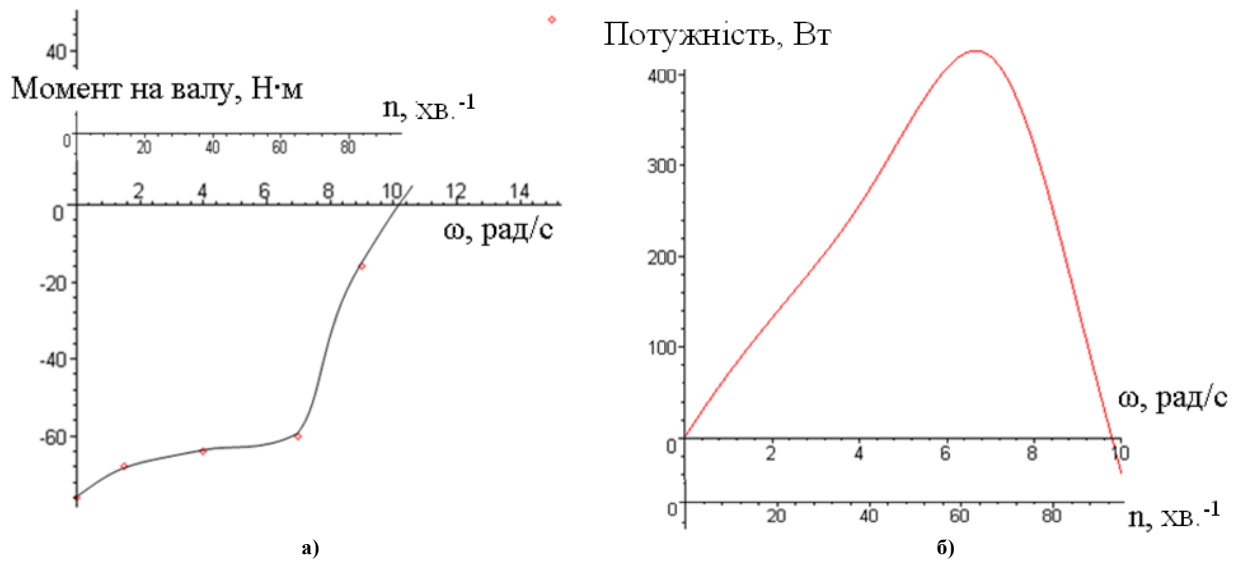


Рис. 2. Підсумкові графіки очікуваних моменту (а) і потужності (б) ВЕУ «КАСКАД-3» при мінімальній швидкості вітру на вході в конфузор 5 м/с

Висновки. На підставі проведених розрахункових досліджень були розроблені пропозиції щодо забезпечення максимальної потужності ВЕУ "Каскад-3" даної компоновки, серед яких: для зменшення аеродинамічного опору ВЕУ на вході в конфузор необхідно передбачити відкриті бічні зони на рівні осей турбін і можливість виходу повітря з застійних зон лопаток за тильною частиною розсікача; можливе зниження негативного впливу відриву вихорів за лопатками ВЕУ на розподіл тиску у внутрішній зоні конфузору за рахунок зменшення кількості лопаток спільно із збільшенням їх ширини (зменшення діаметру барабану турбіни) без втрат потужності ВЕУ "Каскад-3"; зміна (зменшення) кута розкриття конфузора для зсуву точки розшарування набігаючого потоку у внутрішню частину ВЕУ.

Література

1. Янсон Р.А. Вітроустановки : учеб. посібник / за ред. М.І. Осипова. – М. : Изд-во МГТУ ім. Баумана, 2007. – 36 с.
2. Рензо Д. Вітроенергетика / Д. Рензо, В.В. Зубарев. – М. : Вища школа, 1982. – 271 с.
3. Приходько А.А. Комп'ютерне моделювання аеродинаміки рухливих роторів вітроагрегатів Дар'є і Савоніуса / А.А. Приходько, Д.А. Редчиц // Аерогідродинаміка: проблеми і перспективи. – 2006. – Т. 2. – С. 120–142.
4. Шліхтінг Г. Теорія шару / Шліхтінг Г. – М. : Наука, 1974. – 712 с.
5. Ремізов П. П. Моделювання роботи турбіни гідродинамічного пристрою "Каскад-М" / П. П. Ремізов, С. А. Русанов, Д. А. Дмитрієв // Вост.-Європ. журн. передових технологій. – 2012. – № 2/8. – С. 64–67.
6. Пат. № 91 379 Україна, МПК F03B 13/10. Енергетичний Пристрій «КАСКАД-3» / Ремізов П.П. – Оголошене 09.10.2013 ; надрук. 10.07.2014 ; Бюл. № 13.

Рецензія/Peer review : 22.11.2015 р.

Надрукована/Printed : 6.12.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Тіхосова Г.А.