

Щербина Є.Ю., аспірант спеціальності 131 Прикладна механіка
Науковий керівник: Алексєєнко С.В., д.т.н., професор кафедри технологій
машинобудування та матеріалознавства
(Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна)

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ ТА АКУСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОФІЛІВ

Вітроенергетика наразі є одним із найперспективніших напрямів розвитку відновлюваних джерел енергії з найбільшим потенціалом декарбонізації на МВт. Так, за останнє десятиліття глобальний ринок вітрової енергії збільшився майже в чотири рази, досягнувши загальної встановленої потужності вітроелектростанцій 743 ГВт на кінець 2020 року, і зарекомендував себе як одне з найбільш економічно конкурентоспроможних і стійких джерел енергії в світі. У той же час, для досягнення амбітної мети переходу до економіки з нульовими викидами парникових газів до 2050 року, необхідно ще втричі швидше встановлювати вітроелектростанції протягом наступного десятиліття, щоб уникнути найгірших наслідків зміни клімату.

Проте однією з найбільш важливих проблем, які виникають під час експлуатації вітряних турбін, є поширення шуму, що переважно виникає внаслідок утворення нестационарних вихорів різних масштабів. При взаємодії цих вихорів із задньою кромкою лопаті вітряної турбіни виникає аеродинамічний шум. Цей шум може завдати шкоди як людям, так і всьому живому в зоні впливу вітряної турбіни. Наприклад, біля вітрової електростанції потужністю 850 кВт рівень шуму становить 104 дБ, знижуючись до 42–45 дБ лише на відстані 300 м. Водночас уночі поширення шуму відчувається на значно більші відстані і багато людей (згідно із відомимими даними до 10% населення) справляють негативний психологічний вплив. Окрім шуму, який сприймає людське вухо, навколо вітрових електростанцій також поширюється інфразвук із частотою 6-7 Гц, що призводить до вібрації, яка фізично відчувається на відстані до 60 м. І хоча особливості впливу низькочастотного шуму на живі організми ще вивчаються, деякі опубліковані дослідження вказують на негативний вплив шуму вітрових турбін на здоров'я людини.

Вивчення фізичних механізмів, що лежать в основі виникнення звуку, має вирішальне значення для розробки технологій зменшення шуму. Основною метою стає точне моделювання аеродинамічного та акустичного полів, що виникають навколо обтічних тіл.

Сучасні досягнення в галузі комп'ютерної техніки та методів обчислювальної аерогідродинаміки відкривають широкі можливості для проведення досліджень у сфері аероакустики. Зокрема, для вирішення обчислювальних завдань у цій галузі застосовують два основних підходи: пряме акустичне моделювання (DAS – Direct Acoustic Simulation) та гібридні методи [1].

Метод DAS дозволяє одночасно отримувати гідродинамічні та акустичні характеристики шляхом безпосереднього розв'язання рівнянь Нав'є-Стокса для стисливих середовищ. Такий підхід є природним для аналізу процесів генерації звуку. Однією з переваг цього методу є відсутність обмежень, пов'язаних з прийнятими припущеннями, що дозволяє детальніше уточнювати взаємозв'язки між потоком та акустичними явищами та відстежувати їх розвиток у різних областях. Незважаючи на те, що для застосування методу DAS потрібні значні обчислювальні ресурси, особливо для інженерних завдань, розвиток високоефективних обчислювальних технологій робить його все більш доступним. У такому контексті важливим є використання вирішувачів, які володіють високою надійністю, сумісністю та можливістю паралельних обчислень [2].

В роботі розроблено методику розрахунку аеродинамічних та акустичних характеристик профілів. Тестування виконано на прикладі профілю NASA0012, що обтікається під кутом атаки 5° з характеристиками потоку $M = 0,4$ і $Re = 5 \times 10^4$. На рис.1,2 наведені розподіл миттєвих відносних коливань тиску та кругова діаграма розподілу відносного тиску p/p_∞ (де p_∞ – тиск потоку, що набігає) на відстані трьох довжин хорди від задньої кромки профілю.

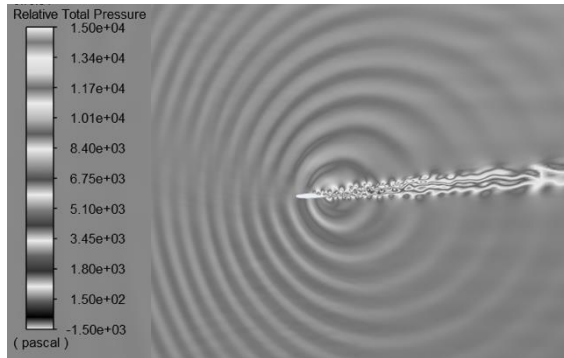


Рисунок 1 – Миттєві відносні коливання тиску під час обтікання профілю NASA0012

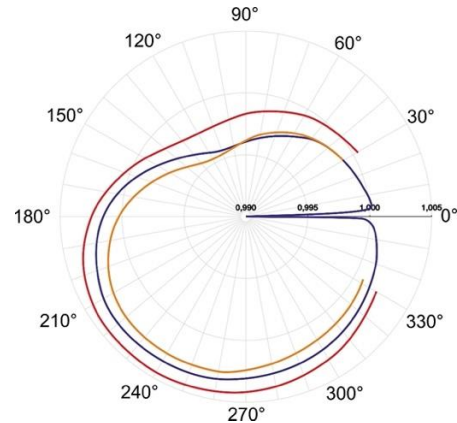


Рисунок 2 – Кругова діаграма розподілу p/p_∞ : —, —, — - результати робіт [3, 4], — - результати даної роботи

Отримані результати мають потенціал використання для аналізу фізичних процесів, що супроводжують генерацію звуку при обтіканні поверхонь повітряним потоком. Крім того, вони можуть бути корисні при розробці та оцінці ефективності методів зменшення аеродинамічного шуму.

Список використаних джерел:

1. Navarrete, M. (2021) Computational aeroacoustics in the automotive industry, Tesi doctoral, UPC, Departament d'Enginyeria Mecànica.
2. Huang, D., Yang, Z., Chi Kin Leung, R., (2021) Implementation of Direct Acoustic Simulation using ANSYS Fluent, INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings, InterNoise21, Washington, D.C., USA, pages 970-1944, pp. 1243-1252(10).
3. Arif, I., Lam Garret, C. Y., Leung Randolph, C. K. (2022) Coupled structural resonance of elastic panels for suppression of airfoil tonal noise. Journal of Fluids and Structures
4. Jones, L. E., Sandberg, R. D., Sandham N D (2008) Direct numerical simulations of forced and unforced separation bubbles on an airfoil at incidence. J. Fluid Mech. 602, 175–207