

Золотаренко С.А., 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)

МЕХАНІЗМИ ВИНИКНЕННЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ ШУМІВ ЛОПАТЕЙ ВІТРОВИХ АГРЕГАТІВ

Сьогодні дедалі більше уваги приділяється питанням, пов'язаним із зменшенням промислового шуму як важливого чинника екологічних проблем. Зокрема, розробляються нові технології, що допомагають знизити негативний вплив шумового забруднення на довкілля. Одним із основних джерел такого забруднення є аеродинамічний шум, який виникає під час обтікання повітряним потоком елементів різних технічних пристроїв. Такий шум характерний для швидкісного транспорту, авіації, промислового обладнання та вітрових електростанцій. Вивчення фізичних процесів, що лежать в основі виникнення аеродинамічного шуму, є ключовим питанням при створенні ефективних технологій його зниження.

Аеродинамічний шум, який виникає при взаємодії навігаючого повітряного потоку із тілами, які мають форму певного профілю, формується внаслідок взаємодії їх поверхні з турбулентними структурами різних розмірів, що утворюються в примежовому шарі та ближньому полі повітряного потоку. Серед основних механізмів виникнення такого шуму виділяють взаємодію дрібних вихорів турбулентного шару з задньою кромкою профілю, а також хвиль нестабільності, поява яких є характерною при ламінарному режимі обтікання [1]. При збільшенні кута атаки чи наявності значної кривизни обтічної поверхні виникає явище локального відриву примежового шару із його повторним приєднанням, що підвищує рівень шуму до 10 дБ порівняно з шумом у турбулентному примежовому шарі [2]. Крім того, аеродинамічний шум можна класифікувати як широкосмуговий або тональний, залежно від частотного спектра акустичних коливань: у профілях з низькими та середніми числами Рейнольдса зазвичай домінує широкий спектр звуків, тоді як за умов великих вихорів чи відриву потоку переважає тональний шум [3, 4].

Широкосмуговий шум має відносно рівномірний розподіл звуку в широкому діапазоні частот і генерується дрібними вихровими структурами турбулентного примежового шару, які, при взаємодії з задньою кромкою профілю, утворюють акустичні хвилі. Тональний шум відрізняється підвищеною інтенсивністю у певному частотному діапазоні і є характерним для турбулентного режиму обтікання профілів та при наявності притупленої задньої кромки. Крім того, цей тип шуму часто з'являється зі збільшенням кута атаки, коли відбувається відрив потоку та утворення великих вихорів, що породжують акустичні коливання у певному тональному діапазоні. Тональний шум також може виникати при обтіканні перехідних профілів, де наявність відриву примежового шару і його перехід до турбулентного режиму призводить до утворення вихорів, що взаємодіють з задньою кромкою профілю, генеруючи тональні звукові хвилі [5].

Фізичний механізм утворення тонального шуму можна пояснити за допомогою теорії, що стосується ламінарних профілів, де негативний градієнт тиску на стороні підвищеного тиску створює умови для розвитку вихрових структур, що відриваються в області задньої кромки профілю. Ці вихори, при взаємодії з задньою кромкою, генерують осцилююче поле на частотах, що відповідають інтенсивним вихровим нестабільностям. Дослідження показали, що частоти утворення таких вихрових структур корелюють з частотами домінуючого тонального шуму, і це дозволяє

прогнозувати акустичні характеристики в залежності від параметрів потоку і профілю лопаті [6, 7].

Крім того, існує чітка кореляція між числом Рейнольдса, кутом атаки та характером шуму. Для низьких і середніх значень числа Рейнольдса аеродинамічний шум має широкосмуговий характер, тоді як для більш високих значень або при збільшенні кута атаки він набуває тональних властивостей. Наприклад, дослідження спектрів шуму, отриманих для профілю NASA0012 при числі Рейнольдса 75000, показали наявність як широкосмугового шуму, так і виражених тональних складових, що досягають різниці до 40 дБ [4, 8].

Таким чином необхідно зазначити, що одним із шляхів зменшення шумового забруднення є розробка спеціальних профілів лопатей вітрових турбін, які б характеризувалися зменшеною інтенсивністю вихроутворення через модифікацію геометрії лопаті та корекцію робочих параметрів потоку. Це дасть змогу знизити вплив шуму на навколишнє середовище та покращити ефективність роботи вітрових установок.

Список використаних джерел:

1. Brooks, T. F., Pope, D. S., & Marcolini, M. A. (1989). *Airfoil Self-Noise and Prediction*. NASA Reference Publication, 1218, 137 p.
2. Paterson, R. W., & Amiet, L. (1974). *Isolated Airfoil-Tip Vortex Interaction Noise*. AIAA Paper No. 74-194.
3. Arcondoulis, E., Doolan, C., Zander, A., & Brooks, L. (2010). A review of trailing edge noise generated by airfoils at low to moderate Reynolds numbers. *Acoustics Australia*, 38(3), 135–139.
4. Arcondoulis, E. J. G., Doolan, C. J., Zander, A. C., & Brooks, L. A. (2010). A review of trailing edge noise generated by airfoils at low to moderate Reynolds number. *Acoustics Australia*, 38(3), 139.
5. Brooks, T. F., Pope, D. S., & Marcolini, M. A. (1989). *Airfoil Self-Noise and Prediction*. NASA Reference Publication, 1218, July.
6. Nash, E. C., Lawson, M. V., & McAlpine, A. (1999). Boundary-layer instability noise on aerofoils. *Journal of Fluid Mechanics*, 382, 27–61.
7. Hiner, W. W. (2015). *Numerical Investigation of Tonal Noise on a Transitional Airfoil under Varying Conditions*. Dissertations and Theses, 166.
8. Arbey, H., & Bataille, J. (1983). Noise generated by airfoil profiles placed in a uniform laminar flow. *Journal of Fluid Mechanics*, 134, 33–47.