

# МОДЕЛЮВАННЯ ШУМІВ ТУРБУЛЕНТНОГО ПОТОКУ В ЗАДАЧАХ ДІАГНОСТИКИ ОБ'ЄКТІВ ЗА ЇХ АКУСТИЧНИМИ ПОЛЯМИ

В.Ф. Миргород, О.М. Чаріков, Д.О. Кропачев

Спеціальне конструкторське бюро «Молнія», Україна, 270005, м. Одеса,  
вул. Прохорівська, 45; Тел. 380 482 323-164, Факс 380 842 324-906

Приймання акустичних сигналів в реальній атмосфері здійснюється у умовах впливу різномірних шумів, найбільш впливовим із яких є шум обтікаючого звукоприймач турбулентного повітряного потоку. Проведені дослідження, результати яких викладаються, мають на меті розробку методів та технічних рішень підвищення завадозахищеності звукоприймальних пристройів системи діагностики об'єктів.

## ВСТУП

Ефективність функціонування сучасних систем акустичної діагностики стану об'єктів за даними від сітки детекторів-звукоприймальних пристройів, розміщених на місцевості, суттєво залежить від можливості мінімізації впливу вітрових шумів на приймання корисних сигналів. Їх рівень за даними фірми «Брюль і К'ер» досягає 50-60 dB відносно 20  $\mu$ Pa в діапазоні до 100 Hz при швидкості вітру 5-6 m/s. Корисний акустичний сигнал розміщується в цьому ж діапазоні, але в зв'язку з ефектом багатопроменевості розповсюдження в атмосфері дуже важко прогнозувати положення максимуму його спектру і ефективність методів частотної селекції недостатня. Тому виникає необхідність проведення досліджень взаємодії вітрового потоку із звукоприймачем з метою розробки моделей такої взаємодії та пошуку засобів мінімізації впливу вітрових шумів.

## 1. ФІЗИЧНІ МОДЕЛІ ШУМІВ ПОТОКУ

В зв'язку з складністю явищ вітроутворення в реальній атмосфері та її переважно турбулентним характером, єдиного погляду на механізми формування акустичних шумів ще не вироблено, а існуючі моделі мають переважно якісний характер [1,2]. В загальних рисах такі шуми мають дві суттєвих компоненти: шум обтікання, який завжди формується як результат взаємодії довільного потоку (ламінарного чи турбулентного) з

перешкодою - поверхнею звукоприймача, та «псевдозвук» потоку - флуктуації тиску в вітровій течії завдяки її нестационарній турбулентній структурі. Якщо перша компонента є в деякій мірі керованою і раціональним вибором поверхні екрану звукоприймача її вплив частково компенсується, то коливання тиску в течії, не маючи нічого спільногго із звуковими коливаннями, фіксуються звукоприймачем як звукові і тому становлять переважне джерело шумів. Саме переважне значення псевдозвукових коливань тиску, які переносяться вітровою течією повз звукоприймач, обумовлює необхідність розробки адекватних математичних моделей їх впливу.

## 2. ЧАСТОТНО-СЕЛЕКТИВНІ ВЛАСТИВОСТІ АКУСТИЧНИХ АНТЕН

Для забезпечення кругової діаграми спрямованості акустичні антени звукоприймачів мають, як правило, циліндричну симетрію. Для однієї компоненти спектру коливання швидкості потоку мають вигляд [1]:

$$V = V_0 + \delta V \exp[j(\omega t + kx)], \quad (1)$$

де  $V_0$  - середня швидкість,  $\delta V$  - амплітуда її пульсацій,  $k = 2\pi / \lambda$  - хвильове число,  $\lambda$  - переважний просторовий масштаб пульсацій,  $X$  - координата вздовж течії.

Поле пульсацій тиску приблизно визначається формuloю Бернулі:

$$\begin{aligned} p &= p_0 + \rho R (\partial V / \partial t) - \rho V^2 / 2 = \\ &= p_0 + p^a + p^v, \end{aligned}$$

де  $\rho$  - густина середовища,  $R$  - характерний розмір антени, наприклад радіус.

Змінні компоненти тиску для акустичної

антени в вигляді плоского кільця шириною  $\Delta$  відповідно мають вигляд:

$$p_v = -2\rho V_0 \delta V \exp(j\omega t) \times \\ \times \frac{1}{2\pi} \int_{R-\Delta}^R \int_0^{2\pi} \varphi^2(R, \Theta) \exp(jkr \cos\Theta) r dr d\Theta, \\ p_a = \rho V_0 \delta V \exp(j\omega t + \pi/2) kR \times \\ \times \frac{1}{2\pi} \int_{R-\Delta}^R \int_0^{2\pi} \varphi(R, \Theta) \exp(jkr \cos\Theta) r dr d\Theta. \quad (2)$$

В (2) функція  $\varphi(R, \Theta)$  є законом обтікання екрану (профіль швидкості).

Використовуючи розкладання  $\exp(jkr \cos\Theta)$  за функціями Бесселя, а  $\varphi(R, \Theta)$  в ряд Фур'є, одержимо перше приближення для компонент коливань тиску потоку:

$$p_m^v = \rho V_0 \delta V \gamma(S) F_{0v}^2 2J_1(kR)/kR + \dots,$$

$$p_m^a = \rho V_0 \delta V \gamma(S) F_{0a} J_1(kR) + \dots, \quad (3)$$

де  $\gamma(S)$  - коефіцієнт чутливості пропорційний площі  $S \approx R\Delta$ ,  $J_1$  - функція Бесселя,

$$F_{0v}^2 = \int_S \varphi^2(S) dS, \quad F_{0a} = \varphi(R, \Theta) \max.$$

Оскільки  $k = 2\pi f/V_0$ , то вирази (3) дають залежність амплітуд коливань тиску від частоти  $f$  і таким чином дозволяють оцінити частотно-селективні властивості антени відносно псевдозвукових шумів вітру. При необхідності можливо врахувати наступні члени розкладання в ряди і підняти точність оцінки, а якщо відома форма спектру коливань швидкості вітру - виконати інтегрування (2) в смузі частот.

Аналіз одержаних залежностей дозволяє зробити висновок, що найбільше значення мають два змінних фактори: профіль швидкості і характерний розмір, оскільки рівень шумів «псевдозвуку» зворотно пропорційний  $\sqrt{R^3}$  в низькочастотній, та  $\sqrt{R}$  в високочастотній областях спектру. Що до профілю швидкості, то його зміна (тим самим зміна сталих  $F_{0v}$ ,  $F_{0a}$ ) шляхом раціонального вибору форми екрану, може дозволити зменшити вплив шумів псевдозвуку в кілька разів у всій смузі частот. Загалом викладений метод відкриває шлях до синтезу антен звукоприймачів з наперед заданими властивостями відносно шумів.

### 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ

#### ДОСЛДЖЕННЯ

Для забезпечення експериментальних дослджень створено вимірювальний комплекс у складі: імітатор аеродинамічної труби для реалізації повітряних потоків, мала акустична камера з відповідним обладнанням для імітації корисних акустичних сигналів та вимірювання частотних характеристик, частотний аналізатор типу 2034 фірми «Брюль і К'єр» з широкосмуговим мікрофоном та плотером, вимірювальне та реєструюче обладнання, що має змогу зв'язку з ЕОМ

Експериментально підтверджено працездатність викладеної моделі впливу шумів «псевдозвуку» турбулентного потоку як основи для розрахункового порівняльного аналізу. Що до шумів обтікання, за допомогою теоретичного та експериментального аналізу умов обтікання екрану потоком встановлені критичні області на поверхні взаємодії (області відриву потоку), які є джерелом найбільш інтенсивних шумових сигналів. Запропоновано та експериментально апробовано засоби оптимального розміщення звуковводу за межами вказаних областей та вибору форми екранів перспективних звукоприймачів, що забезпечують більш сприятливі умови обтікання. Експериментальні випробування підтверджують можливість, за допомогою таких вітрозахисних рішень, покращити завадозахищеність звукоприймальних пристройів на 6 - 10 dB в смузі частот 2-50 Hz при швидкості вітру 6 - 7 m/s.

### ВИСНОВКИ

Ефективність засобів діагностики об'єктів за їх акустичними полями в реальних умовах суттєво обмежується несприятливим впливом шумів вітрового походження, з яких переважний характер має «псевдозвук» повітряного потоку.

Представлення «псевдозвуку» як впорядкованих флуктуацій тиску, які мають певний просторовий масштаб та переносяться вітром з його швидкістю, дозволяє оцінити частотно-селективні властивості акустичних антен звукоприймачів і на цій основі створити розрахункову методику їх порівняння.

Теоретично обґрунтована та експериментально підтверджена можливість оптимізації характеристик завадозахищеності пристройів в заданих масогабаритних обмеженнях шляхом вибору конструкцій вітрозахисного екрану та антени.

### ЛІТЕРАТУРА

- Д.І. Блохінцев. Акустика неоднорідного рухомого середовища. - М. : Наука, 1981. - 208 с.
- П. Чжен. Відривні течії. - М. : Мир, 1972. - 300 с.