

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ АКУСТИЧНИХ СИГНАЛІВ СИСТЕМИ АКУСТИЧНОГО МОНІТОРИНГУ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

Удосконалення методів одночасного виявлення, розпізнавання та визначення координат декількох засобів повітряного нападу (ЗПН) за їх акустичними сигналами (АС) є одним з перспективних напрямків розвитку системи акустичного моніторингу повітряного простору. Для виявлення, розділення, розпізнавання та локалізації ЗПН за їх АС необхідно розробити модель прийнятого сигналу, за параметрами якої можна вирішити дане завдання.

У шумові силової установки БпЛА, що містить поршневий двигун повітряного охолодження за відсутності у вихлопному тракті двигуна глушника, визначальним джерелом зовнішнього шуму є поршневий двигун [1]. Іншим джерелом шуму є повітряний гвинт. Акустичний шум утворюється в результаті силової взаємодії лопатей гвинта з навколишнім середовищем у процесі створення тяги і при витісненні повітря з фіксованого об'єму середовища лопатями. До точки спостереження будуть доходити імпульси, що викликані проходженням кожної лопаті, що збудує повітря. Оскільки гвинт обертається з визначеною частотою, і в шумі будуть існувати гармоніки [2]. Сумарний рівень шуму силової установки БпЛА визначається, здебільшого, першими 10-ма гармоніками шуму двигуна і першими 5-ма гармоніками шуму обертання гвинта [1]. Ширококутний низькочастотний аеродинамічний шум корпусу планера виникає в результаті обтікання повітрям поверхні БпЛА та тиску, що створюється підйомною силою крила.

Таким чином, АС БпЛА є сумою гармонік, що кратні частоті обертання ротора двигуна а також інших високо- і низькочастотних ширококутних складових. З огляду на частотний склад такого сигналу можна провести його аналіз та ідентифікувати конкретний тип джерела звуку.

Амплітуда АС залежить від багатьох факторів: температури та вологості повітря, сили і напрямку вітру, наявності опадів, тощо. Тобто вона є нестійким та неінформативним параметром. Частота конкретної гармоніки прийнятого АС залежить від швидкості руху джерела звуку та напрямку його польоту (ракурсу відносно точки прийому) при фіксованому режимі роботи силової установки. Фаза прийнятого АС залежить від напрямку на джерело звуку та відстані від нього до точки спостереження. Пропонується розпізнавати АС від декількох джерел звуку аналізуючи частоти гармонічного сигналу на окремих мікрофонах акустичного датчика в точці прийому. Модель гармонічного сигналу S_{l0} (де l – індекс джерела звуку, 0 – індекс гармоніки виділеної для аналізу) на вході одного мікрофона на частоті f_0 можемо подати у вигляді:

$$S_{l0}(t) = A_{l0} \sin \left(2\pi f_{l0} t + 2\pi \frac{V_l(t) \alpha_l(t)}{\lambda_{l0}} t + 2\pi \frac{R_l(t)}{\lambda_{l0}} \right), \quad (1)$$

де A_{l0} – амплітуда гармоніки АС; $\frac{V_l(t) \alpha_l(t)}{\lambda}$ – зсув частоти, який залежить від швидкості $V(t)$ джерела звуку та ракурсу його польоту відносно точки спостереження $\alpha(t)$; $2\pi \frac{R_l(t)}{\lambda}$ – набіг фази зумовлений зміною відстані до джерела звуку; λ – довжина хвилі АС. Тоді гармонічна складова АС одного джерела звуку може бути записана у вигляді суми N компонент:

$$S_1(t) = \sum_{i=1}^N S_{1i}(t), \quad (2)$$

а сигнальна суміш $X_1(t)$ на вході одного мікрофона акустичного датчика може бути записана у такому виді:

$$X_1(t) = \sum_{i=1}^M S_i(t) + n(t), \quad (3)$$

де $S_i(t)$ – АС одного джерела звуку; M – кількість джерел звуку; $n(t)$ – шумова складова, яка включає в себе ширококутну складову АС, шум навколишнього середовища, внутрішній шум акустичного датчика.

Список використаних джерел

1. Даник Ю.Г., Пулеко І.В., Бугайов М.В. Виявлення безпілотних літальних апаратів на основі аналізу акустичних та радіолокаційних сигналів // Вісник ЖДТУ. 2014. № 4 (71). С.71-80
2. Бугайов М.В. Алгоритм виявлення акустичних сигналів безпілотних літальних апаратів // Вісник ЖДТУ. 2015. № 3(74). С. 46-53.