

УДК 629.735.072.8.08:004(045)

Моржов В.І., д-р техн. наук
Єрмачков Ю.О.

ЦИФРОВИЙ ІМІТАТОР АКУСТИЧНИХ ШУМІВ

Інститут комп'ютерних технологій
Національного авіаційного університету

Розглянуто питання побудови універсального цифрового імітатора акустичних шумів як складової частини авіаційного тренажера повітряного судна. Принцип побудови імітатора базується на цифровому синтезі сигналів у звуковому частотному діапазоні, які відповідають частотним властивостям акустичних коливань, що супроводжують фізичний процес руху повітряного судна та функціонування його бортових систем. Розробка імітатора зводиться до розробки комплексу прикладного програмного забезпечення, за допомогою якого і здійснюється синтез коливань у потрібній смузі звукових частот

Введення

В теперішній час авіаційні тренажери (АТ) стали визначними технічними засобами, які широко застосовуються в авіаційних підрозділах для навчання, підвищення майстерності пілотів, перенавчання на інші типи повітряних суден, регулярних перевірок професійних знань та вмінь екіпажу по пілотуванню, відпрацюванню взаємодії членів екіпажу під час пілотування повітряного судна як у штатних, так і в складних метеоумовах і таке інше.

Головним і визначальним критерієм ефективності використання сучасних АТ вважається економічний показник, який остаточно визначає вартість підготовки і навчання членів екіпажу повітряного судна конкретного типу на базі тренажера.

Значно менша вартість тренувань екіпажів на тренажері, а також тенденція скорочення часу реальних польотів при навчанні пілотів сприяє переносу відпрацювань технології взаємодії пілота з бортовими системами повітряного судна, які передбачені програмою підготовки пілота конкретного повітряного судна, з реальних тренувальних польотів в наземні умови на тренажер.

У зв'язку з цим суттєво зростають вимоги до точності відтворення фізичних процесів бортових систем повітряного судна, які моделюються в імітаторах систем тренажера, а також до якості імітації

різноманітних фізичних факторів польоту (акустичні шуми, візуальне оточення зовнішнього простору повітряного судна і таке інше).

З цією метою провідні тренажеробудівні підприємства постійно удосконалюють не тільки конструкцію, але і динамічні та інформаційні характеристики імітаторів АТ, які повинні максимально наближатися до відповідних характеристик реальних бортових систем, фізичних факторів польоту повітряного судна, що моделюються.

Основні принципи побудови цифрового імітатора акустичного шуму

Сприйняття фізичних факторів польоту (ФФП) відноситься до сенсорної діяльності пілота, в який приймають участь як первинні елементи, що сприймають інформацію про рух – різні рецептори людини, так і відповідні ділянки кори головного мозку, які переробляють цю інформацію. Як відомо, акт пілотування це результат переробки пілотом різної інформації, яку він отримує в кабіні ПС.

Серед великої різноманітності інформаційних потоків, що сприймають органи почуття в кабіні ПС, безпосередньо роль в управлінні польотом відіграють тільки такі види інформації: зорова, тактильно-кінестетична, акцелераційна і акустична.

Акустичні потоки інформації супроводжують функціонування всіх механічних систем ПС, до яких відносяться:

- функціонування силового устаткування;
- функціонування злітно-посадкових засобів;
- функціонування систем кондиціонування;
- рух ПС по злітно-посадковій смузі;
- функціонування гальмової системи а також акустичні шуми як наслідок дій атмосферних опадів.

Кожен вид акустичних шумів має свої особливості, які характеризуються межею частот та потужністю звукових коливань. Так, акустичний шум, що супроводжує функціонування різних механічних систем силового устаткування ПС, наприклад, газотурбінного двигуна на режимах малого газу або злітного, має спектр частот і рівень шуму, що показано на рис. 1.



Рис. 1. Спектрограма шуму на режимах малий газ та злітний

Як бачимо із спектрограми, на злітному режимі робота двигуна супроводжується найбільшим акустичним шумом на частотах октавних смуг 1,2,3,4,5, де рівень шуму досягає 79 дБ. На режимі малого газу найбільший рівень шуму (61 дБ) мають частотні смуги 4 та 5. Для різних режимів, як показує спектрограма шуму на рис. 2, найбільший рівень шуму двигун створює на смузі 50гц÷200 гц, де рівень шуму змінюється від 61 дБ (на режимі малого газу) до 80 дБ (на злітному режимі).

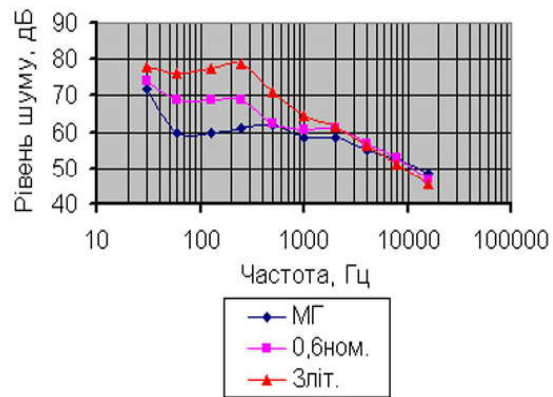


Рис. 2. Спектрограма шуму на різних режимах

На рис. 3 показані діаграми зміни рівня шуму для різних частот під час переходу від режиму малого газу до злітного. Рівень шуму для октавних смуг частот 31, 500, 2000, 8000 Гц змінюється з часом, повільно, а для частоти 125 Гц активно від рівня 65 дБ до 76 дБ за 3 секунди. Найбільший рівень шуму виникає на смугах частот 31, 125 Гц і дорівнює 79 дБ.

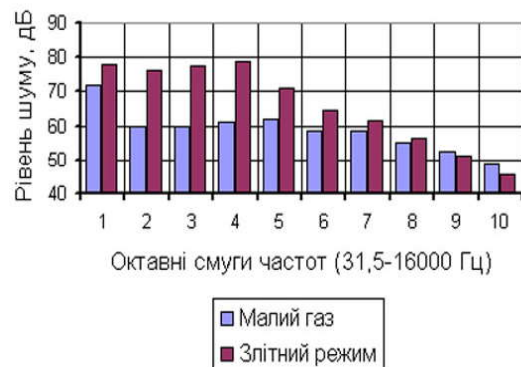


Рис. 3. Спектрограма шуму на режимі приємності

Аналогічні спектрограми одержують і для тих випадків, коли трапляються відмови окремих підсистем двигуна, що змінює рівень та частотний спектр шуму. Всі ці характеристики доцільно використовувати для імітації акустичних шумів двигуна конкретного типу.

Таким чином, вихідною інформацією для побудови імітатора акустичних шумів ПС є спектрограми шумів для різних режимів функціонування усіх систем, механічні частини яких створюють акустичний шум. Аналіз характеру цих шумів

показує, що їх можна умовно поділити на три групи:

- дискретні, поодинокі звукові сигнали (удар шасі об злітно-посадкову смугу, грім і таке інше);
- гармонічні упорядковані звукові сигнали;
- випадкові звукові сигнали – шум.

Всі ці звукові сигнали у просторі кабіни змішуються і утворюють акустичне поле, яке і несе інформацію пілоту.

Відтворити повністю акустичне поле за допомогою імітатора в кабіні тренажера неможливо по-перше тому, що кабіна тренажера має меншу довжину в порівнянні з фюзеляжем повітряного судна, де і утворюється це поле за рахунок багатократного віддзеркалення звукових волн від корпусу фюзеляжу, а по-друге джерела звукових коливань на повітряному судні розміщених у просторі, що в умовах тренажера відтворити неможливо.

Тому в імітаторі акустичних шумів моделюються характеристики спектрограм, що дозволяє відтворювати акустичні коливання, які створюються конкретними бортовими системами ПС.

В теперішній час при побудові імітаторів акустичних шумів знаходять застосування такі методи:

- синтез акустичних шумів за допомогою аналогових електронних засобів;
- звукозапис шумів реальних джерел на різних режимах функціонування бортових систем та синтез потрібного складу акустичних коливань;
- цифровий синтез акустичних шумів на базі апаратних і програмних засобів сучасної обчислювальної техніки у реальному масштабі часу.

Перший метод застосовується в більшості імітаторів шумів сучасних авіаційних тренажерів, який полягає в електричному синтезі аналогових сигналів з заданими спектрами частот та рівнем, які далі перетворюються в звукові коливання за допомогою аудіозасобів.

До числа основних недоліків цього метода імітації акустичних шумів слід

віднести неуніверсальність та громіздкість обладнання.

Недоліком другого метода імітації акустичних шумів є велика зайвість записів різноманітних акустичних шумів для великої кількості можливих режимів функціонування систем, що ускладнює пошук потрібного варіанта у реальному масштабі часу.

Для реалізації третього методу цифрового синтезу акустичних шумів необхідно математичні моделі кожного виду сигналів, за допомогою яких імітуються акустичні шуми, розраховувати на цифрових обчислювальних засобах згідно з початковими умовами та керуючими сигналами. Цифрові моделі кожного виду сигналів підсумовуються і подаються на аудіо блок, який і є джерелом акустичних коливань в імітаторі тренажера.

Умовно дискретний поодиначий звук можна подати у вигляді трапецеїдального імпульсу, що зображено на рис. 4 з рівнем A_0 і тривалістю τ на інтервалі $0 \div (+\tau)$.

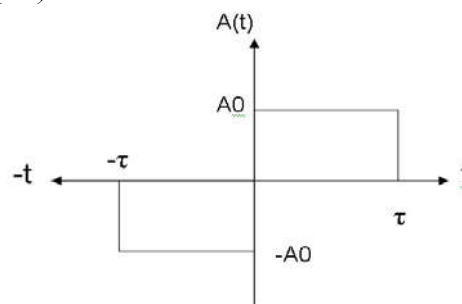


Рис. 4. Дискретний поодиначий звуковий сигнал

Доповнюючи цей графік імпульсом протилежного знака на інтервалі $0 \div (-\tau)$, одержимо функцію, яка існує на інтервалі часу $-\tau \div (+\tau)$.

Аналітично цю функцію можна виразити наступним чином:

$$A(t) = \begin{cases} A_0 & \text{при } 0 < t \leq \tau \\ -A_0 & \text{при } -\tau \leq t < 0, \end{cases} \quad (1)$$

де A_0 – рівень звукового імпульсу;
 τ – тривалість імпульсу.

Слід відзначити, що ця функція непарна, тому що $A(-t) = -A(t)$.

З урахуванням цього виконаємо розкладання цієї функції у тригонометричний ряд Фур'є і одержимо таку аналітичну залежність:

$$A(t) = \frac{A_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} b_k \sin kt, \quad (2)$$

де k – кількість складових ряду;
 b_k – коефіцієнт, який визначається по формулам Ейлера-Фур'є [4].

Як бачимо із рівняння для моделювання дискретного поодинокого звуку цифровий обчислювач повинен генерувати гармонійні коливання, частота яких пропорційна кількості членів ряду k , і виконувати обчислювальні операції згідно з рівнянням. Після завершення обчислювальних операцій результати передаються в цифро-аналоговий перетворювач, де перетворюються в аналоговий електричний сигнал і поступають в аудіоблок імітатора. Рівень поодинокого звуку A_0 задається в початкових умовах програми імітації чи інструктором тренажера з пульта.

У основу принципу цифрового моделювання гармонійних звукових коливань слід покласти таке математичне рівняння

$$A(t) = B \sin \omega t. \quad (3)$$

де B – початковий рівень звуку;
 ω – частота звукових коливань.

Змінюючи параметр B за визначеним законом, одержуємо амплітудну модуляцію гармонічного коливання. Аналогічно змінюючи параметр ω за якимось законом, одержуємо частотну модуляцію гармонічного коливання.

Таким чином, універсальна математична модель гармонійних звукових коливань можна записати у вигляді:

$$A(t) = B(T) \cdot \sin \omega(T) \cdot t, \quad (4)$$

де $B(T)$ – функція амплітудного модулювання;
 ω – функція частотного модулювання.

Виконуючи обчислювальні операції в цифрових обчислювачах згідно з рівнянням (4) одержимо цифрову модель гармонійних коливань у вигляді цифрових

масивів, які перетворюються у звукові коливання в імітаторі раніше розглянутим способом.

Цифрове моделювання акустичних шумів на базі цифрових обчислювальних засобів може виконуватися двома способами:

- шляхом генерації випадкових сигналів з потрібною спектральною щільністю;
- шляхом фільтрації білого шуму, який має спектральну щільність рівномірну на всіх частотах від $-\infty$ до $+\infty$.

Другий спосіб більш універсальний, тому знайшов широке застосування в аналогових імітаторах акустичних шумів.

Цифрова фільтрація білого шуму потребує великої обчислювальної продуктивності, тому до останнього часу не застосовувалась в таких імітаторах.

В теперішній час з'явилися обчислювальні засоби цифрової техніки, які дозволяють виконувати цифрову фільтрацію білого шуму у реальному масштабі часу, що дає можливість моделювати випадкові акустичні звуки (шуми), що супроводжують роботу бортових систем повітряного судна.

Принцип цифрового моделювання випадкових звуків можна пояснити по структурній схемі цифрового імітатора акустичних шумів, який показаний на рис. 5.

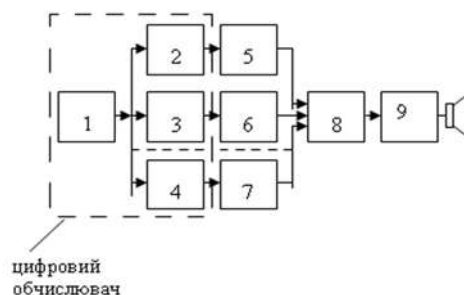


Рис. 5. Структура цифрового імітатора акустичних шумів

1 – генератор білого шуму; 2 – 4 – цифрові фільтри; 5 – 7 – цифро-аналогові перетворювачі; 8 – підсилювач; 9 – аудіоблок

У цифровому обчислювачі генеруються випадкові числа, які є складовою

частиною випадкового процесу ("білого шуму") з спектральною щільністю $S(\omega) = S_0$ для $-\infty < \omega < \infty$.

Практично $20 \text{ Гц} < \omega < 20000 \text{ Гц}$, тому що імітуються звукові сигнали. У зв'язку з цим випадковий процес буде псевдовипадковий. Послідовність випадкових чисел обробляється програмою для виконання цифрової фільтрації. Після проведення цифрової фільтрації послідовність випадкових чисел має спектральну щільність, яка відповідає спектральній щільності акустичних шумів конкретного обладнання повітряного судна. Після перетворення цих чисел електричні сигнали подаються через підсилювач на аудіоблок, де створюються звукові шуми. В загальному вигляді рівняння цифрового фільтра можна подати:

$$A(nT) = -\sum_{j=1}^M a_j A_1(nT - jT) + \sum_{i=0}^N b_i \cdot A_2(nT - iT), \quad (5)$$

де $A_1(nT - jT)$; $A_2(nT - iT)$ - затримка;

a_j , b_i - коефіцієнти;

T - період квантування по часу;

n - кількість інтервалів.

Реалізація усіх розглянутих методів цифрового моделювання звукових сигналів може бути реалізовано:

- у вигляді автономного улаштування на базі мікропроцесорного комплекту;

- у вигляді прикладного улаштування на базі універсальної обчислювальної машини тренажера.

Висновки

Таким чином, комп'ютеризація імітатора акустичних шумів дозволить:

- забезпечити універсальність імітатора;

- підвищити точність моделювання звукових сигналів різної фізичної природи;

- знизити вартість;

- зменшити строки розробки і виготовлення кожного імітатора для нового типу повітряного судна і його обладнання;

- покращити експлуатаційні характеристики обладнання імітатора;

- покращити надійність обладнання імітатора;

- покращити ремонтпридатність обладнання імітатора;

- забезпечити автоматизований контроль функціонування обладнання імітатора.

Цифрові імітатори акустичних шумів доповнять склад обладнання комплексних тренажерів повітряних суден, яке реалізоване на базі сучасних засобів обчислювальної техніки, що позитивно виявиться на підвищенні ефективності тренажерної техніки такого типу.

Список літератури

1. Моржов В.І. Призначення і класифікація авіаційних тренажерів та моделювальних комплексів. - К.: КМУЦА, 1997. - 120 с.

2. Красовський А.А. Основы авиационных тренажеров. - М.: Машиностроение, 1995. - 303 с.

3. Базилевский А.А., Гузий А.Н. Моделирование поля информации в авиационных тренажерах. - К.: Знание, 1975. - 55 с.

4. Авиационная акустика. часть 2. Шум в салонах пассажирских самолетов. / Под редакцией Мунина А.Г. - М.: Машиностроение, 1986. - 264 с.

5. Голдстейн, Мервин Е. Аэроакустика. - М.: Машиностроение, 1989. - 468 с.

6. Е. Музыченко. Принципы цифрового звука - www.websound.ru, 1999.

7. Д. Михайлов. Восприятие акустического шума человеком, - www.websound.ru, 2000.

8. Д. Шмунк. Восприятие и сжатие звука.- www.websound.ru, 1999.

9. Брунченко А.В. Цифровые фильтры в электросвязи и радиотехники. - М.: Радио и связь, - 1982.

10. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. - М.: Техн. литература, 1956. - 783 с.